



TUGAS AKHIR - TE 141599

IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA *DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM* MENGGUNAKAN *WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH PLATFORM (WARP)*

Aditya Sukmana Putra
NRP 2212106074

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Suwadi, MT.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION
OF DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM USING
WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH PLATFORM (WARP)**

Aditya Sukmana Putra
NRP 2212106074

Supervisors
Dr. Ir. Suwadi, MT.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA DIRECT
SEQUENCE SPREAD SPECTRUM MENGGUNAKAN
WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH PLATFORM (WARP)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Suwadi, MT.
NIP. 196808181993031002

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Titiek Survani, MT.
NIP. 196411301989032001



Implementasi dan Evaluasi Kinerja Direct Sequence Spread Spectrum Menggunakan Wireless Open-Access Research Platform (WARP)

Nama : Aditya Sukmana Putra
Pembimbing : Dr. Ir. Suwadi, MT.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

ABSTRAK

Dalam sistem komunikasi nirkabel, khususnya pada dunia komunikasi taktis atau militer, salah satu yang harus dihadapi adalah gangguan *jamming*. Informasi yang dikirimkan harus tahan terhadap *jamming* dan aman, sehingga informasi hanya bisa diterima oleh sisi penerima yang diinginkan saja.

Salah satu sistem yang dapat mengatasi masalah tersebut adalah *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) dimana informasi akan dikalikan secara langsung dengan *pseudo-noise sequence* yang mempunyai laju chip jauh lebih besar, sehingga sinyal akan dikirimkan pada *bandwidth* yang jauh lebih besar dari laju bit. Sistem ini dapat diimplementasikan pada *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP) yang merupakan salah satu dari jenis *Software Define Radio* (SDR). Dengan WARP dapat terlihat unjuk kerja sistem secara *real/nyata* pada kanal nirkabel. Modul WARP mampu diprogram secara langsung dengan *software* MATLAB, sehingga pemodelan sistem *baseband*, *passband* pada pengirim dan penerima dapat dilakukan dengan mudah.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem DSSS pada WARP yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz yang ditampilkan dalam bentuk grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap variasi nilai daya sinyal *jamming* dengan mengirimkan 38400 bit. Kinerja sistem terbaik didapatkan ketika daya sinyal *jamming* lebih kecil atau sama dengan daya sinyal *carrier* sistem DSSS. Pada *Single Tone Jamming* (STJ) sistem akan mencapai nilai BER 10^{-3} saat daya sinyal *jamming* 125 % dari daya sinyal sistem DSSS, sedangkan pada *Multi Tone Jamming* (MTJ) sistem akan mencapai BER 10^{-3} saat daya sinyal *jamming* 100 % dari daya sistem DSSS.

Kata kunci : DSSS, WARP, SDR, BER, STJ, MTJ.

Implementation and Performance Evaluation of Direct Sequence Spread Spectrum Using Wireless Open-Access Research Platform (WARP)

Name : Aditya Sukmana Putra
Supervisors : Dr. Ir. Suwadi, MT.
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

ABSTRACT

In wireless communication systems, especially in the world or military tactical communications, one of which must be faced is *jamming* interference. The information submitted must be resistant *jamming interference* and secure, so that information can be received by intended recipient.

One of the most system which can solve the problem is *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) which the information will be multiplied directly with the *pseudo-noise sequence* which have a chip rate is much greater, so that the signal will be sent in much greater bandwidth than the bit rate. This system can be implemented in the *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP), which is one of the types of *Software Define Radio* (SDR). In WARP system performance can be seen in real condition on the wireless channel. WARP module capable programmed directly with MATLAB software, so the baseband, passband modeling system, transmitter and receiver can be done easily.

Testing was conducted to determine the performance of DSSS system in WARP are working at frequency 2.4 GHz is displayed in graphical form *Bit Error Rate* (BER) of the variation of the jamming signal power by sending 38400 bits. The best system performance is obtained when the *jamming* signal power is less than or equal to the *carrier* signal power DSSS system. In *Single Tone Jamming* (STJ) the system will reach a value of BER 10^{-3} when jamming signal power 125% of the signal power DSSS system, while the *Multi Tone Jamming* (MTJ) system will achieve BER 10^{-3} when jamming signal power 100% of the DSSS system power.

Keyword : DSSS, WARP, SDR, BER, *jamming*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan YME, atas segala kasih dan berkat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan tugas akhir dan penelitian dengan judul :

Implementasi dan Evaluasi Kinerja *Direct Sequence Spread Spectrum* menggunakan *Wireless Open-Access Research Platform (WARP)*

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan program strata 1 pada jurusan teknik elektro, fakultas teknologi industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada beberapa pihak yang sudah membantu, antara lain :

1. Bapak Dr. Ir. Suwadi, MT., dan Ibu Dr. Ir. Titiek Suryani, MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan teknis ketika penulis mengalami permasalahan dalam penelitian.
2. Kedua orangtua, Yuli Setiyono dan Yuni Supartini, Kakakku Angga Sukmana Putra, Adikku Astrid Lastania S.P , Rivo Oktisa S.P yang telah memberikan dorongan semangat dan mimpi-mimpi kelak dalam kehidupan sehingga penulis menjadi lebih bersemangat.
3. Bapak Ir. Gatot Kusrahardjo, MT selaku kepala lab AJ-404 yang telah memfasilitasi tempat dan alat yang digunakan pada saat pengukuran berlangsung.
4. Teman-teman Laboratorium Komunikasi Multimedia B-304, Bang Rizadi, Arimaya, Dewi, Hasan, Rini, Fany, Via yang selalu membantu penulis saat melakukan perancangan dan pengukuran sehingga pekerjaan menjadi terasa lebih ringan.
5. Teman-teman Lab AJ-404, Mas Pek, Mas Mahmud, Izwar, Hani, Novi yang telah mau direpotkan dalam segala hal pada saat pengukuran berlangsung.
6. Teman-teman Lab AJ-306, Arif K, Mas Arif, Muti, Uci, Raka, Angga, Mega, Lina yang telah memberikan masukan dalam penelitian ini.
7. Teman-teman yang lain, Prima, Tari, Dina yang telah turut membantu dalam pengerjaan penelitian ini.

8. Teman sekamar Arif Kurniawan, teman sekosan Chipe, Joko, Wildan, Dony, Bagas, Andi, Gozi, Aji yang selalu menemani hari-hari penulis dikosan dan turut membantu dalam penelitian ini.
9. Teman waktu kuliah di IT-Telkom Bandung, Imam, Hari, Paku, Fauzan, Wangi, Nana, Mimin, Tedi, Afan, Pincuk, Didik, Bebek, Ica, Dana, Fajar, Tika, Evi, Ntus, Anas dll yang telah memberi dorongan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
10. Teman team futsal Culture, Encus, Mbering, Nanang, Bayu, Dimas yang tak henti-hentinya memberikan semangat disaat penulis merasa sepi
11. Teman masa kecil F.X. Bangun P, Lia, Desi, Dina, Arini, Hara yang sampai saat ini terus memberikan semangat dalam penyelesaian penelitian ini.
12. Teman-teman team buku angkatan Lintas Jalur 2012, Septian, Mas Santoso, Herta, Sifa, Eko, Ical, Tika, Wildan, Mbak Sinta yang telah memberikan masukan dalam penyelesaian penelitian ini.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Manfaat	4
 BAB II DASAR TEORI	 5
2.1 <i>Spread Spectrum</i>	5
2.2 <i>Direct Sequence</i>	6
2.2.1 Prinsip Kerja <i>Direct Sequence</i>	6
2.3 <i>Pseudo Noise (PN) Sequence</i>	11
2.4 Modulasi BPSK.....	17
2.4.1 BER Pada Modulasi BPSK.....	18
2.5 Kanal AWGN.....	19
2.6 Model <i>Jamming</i>	20
2.6.1 <i>Single Tone Jamming</i>	21
2.6.2 <i>Multiple Tone Jamming</i>	22
2.7 <i>Software Defined Radio</i>	23
2.8 <i>Wireless Open Access Research Platform (WARP)</i>	24
2.8.1 <i>Hardware WARP</i>	24
2.8.1.1 <i>FPGA Board</i>	24
2.8.1.2 <i>Radio Board</i>	25
2.8.1.3 <i>Clock Board</i>	25
2.8.2 <i>WARPLab</i>	27

BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM.....	29
3.1 Langkah – Langkah Perancangan	29
3.2 Alur Perancangan Sistem	29
3.3 Perancangan Sistem	31
3.3.1 Pada Sisi Pengirim dan Penerima	31
3.3.1.1 NRZ Encoder dan Decoder	32
3.3.1.2 <i>Pseudo Noise Generator</i>	33
3.3.1.3 Blok Modulasi dan Demodulasi	35
3.3.1.4 Pilot untuk estimasi kanal	38
3.3.1.5 <i>Preamble</i> untuk <i>Timing Synchronization</i>	38
3.3.1.6 <i>Pulse Shaping Filter</i> dan <i>Matched Filter</i>	38
3.3.1.7 <i>Upconvert</i> dan <i>Downconvert</i>	39
3.3.2 Pada Kanal	40
3.3.2.1 Kanal Nirkabel	40
3.3.2.2 <i>Jamming</i>	41
3.4 Implementasi Sistem	41
3.4.1 Karakteristik <i>Radio Board WARP</i> versi 1.4	41
3.4.1.1 RSSI	42
3.4.1.2 <i>Gain setting</i>	43
3.4.2 Integrasi PC dengan modul WARP	45
3.4.3 Sistem komunikasi DSSS	48
BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM	57
4.1 Skenario Pengujian	57
4.2 Analisis kinerja modulator dan demodulator BPSK	58
4.3 Analisis kinerja BPSK dan DSSS	60
4.4 Analisis kinerja sistem DSSS dengan <i>jamming</i>	61
4.4.1 Pengukuran sistem DSSS <i>single tone jamming</i>	62
4.4.2 Pengukuran sistem DSSS <i>multi tone jamming</i>	67
4.4.3 Analisa BER <i>jamming single tone</i> dan <i>multi tone</i>	72
4.4.3.1 Perbandingan BER <i>jamming single tone</i> dan <i>multi tone</i> pada Ptx -20 dBm	72
4.4.3.2 Perbandingan BER <i>jamming single tone</i> dan <i>multi tone</i> pada Ptx -25 dBm	74
4.5 Pengukuran dengan <i>Spectrum Analyzer</i>	77

BAB V PENUTUP.....	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN A PROPOSAL.....	83
LAMPIRAN B LISTING PROGRAM.....	85
RIWAYAT HIDUP PENULIS	101

DAFTAR GAMBAR

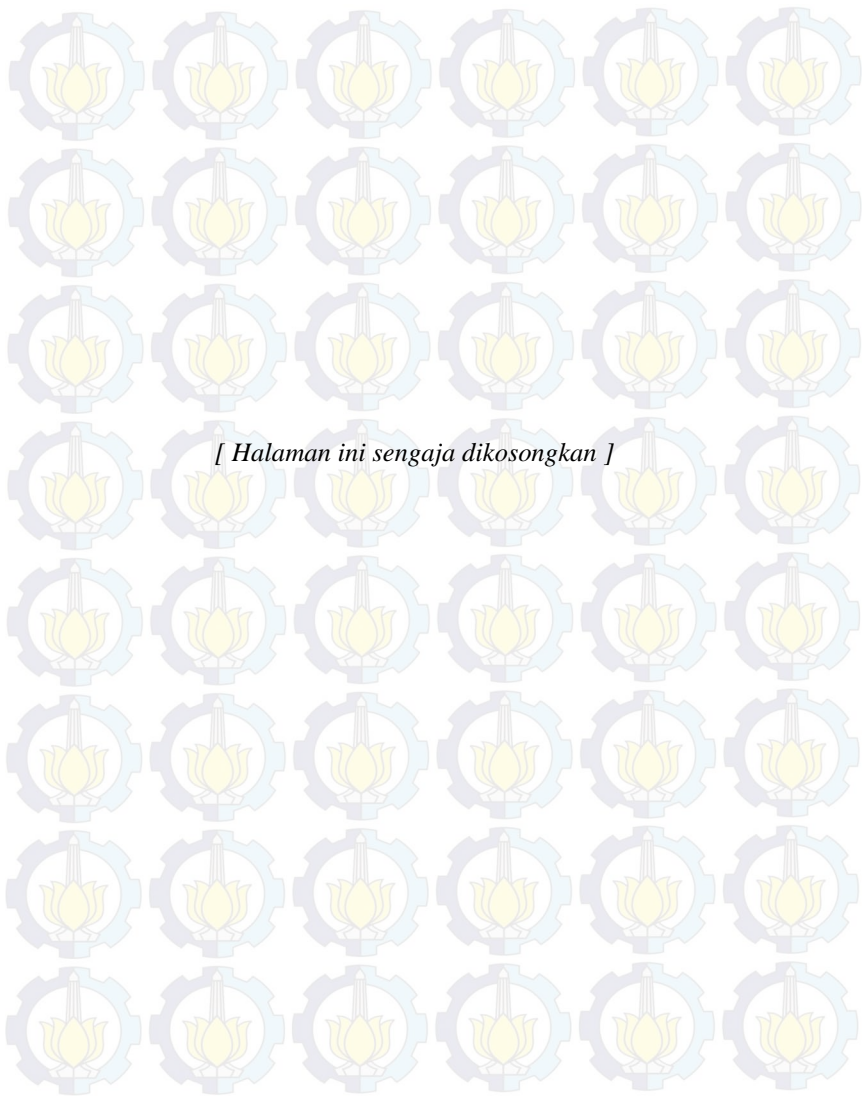
Gambar 2. 1	Model umum sistem <i>DSSS</i>	6
Gambar 2. 2	Blok diagram pemancar dan penerima <i>DSSS</i>	7
Gambar 2. 3	Sinyal <i>Spreading</i>	7
Gambar 2. 4	Sinyal <i>Despreading</i>	8
Gambar 2. 5	Model sistem <i>spread spectrum baseband</i> ideal	9
Gambar 2. 6	Contoh penggunaan <i>PN code</i>	11
Gambar 2. 7	Auto Korelasi.....	13
Gambar 2. 8	Diagram <i>MLS PN Generator</i>	14
Gambar 2. 9	Contoh konstelasi modulasi <i>BPSK</i>	18
Gambar 2. 10	Grafik <i>bit error rate BPSK</i>	19
Gambar 2. 11	Pemodelan Kanal <i>AWGN</i>	20
Gambar 2. 12	<i>Single-tone jamming</i>	21
Gambar 2. 13	<i>Multiple tone jamming</i>	22
Gambar 2. 14	Mekanisme anti <i>jamming</i> pada <i>DSSS</i>	23
Gambar 2. 15	Arsitektur <i>hardware WARP</i>	24
Gambar 2. 16	Modul <i>WARP</i>	25
Gambar 2. 17	<i>Radio Board</i>	26
Gambar 2. 18	Arsitektur <i>radio board</i>	26
Gambar 2. 19	<i>Clock board</i>	26
Gambar 2. 20	Logic clock board	27
Gambar 2. 21	<i>Radio clock board</i>	27
Gambar 2. 22	Arsitektur <i>WARPLab</i>	27
Gambar 3. 1	Model umum sistem <i>DSSS</i>	29
Gambar 3. 2	Diagram alir perancangan sistem.....	30
Gambar 3. 3	Blok desain implementasi sistem <i>transmitter DSSS</i>	32
Gambar 3. 4	Blok desain implementasi sistem <i>receiver DSSS</i>	32
Gambar 3. 5	Encoder bipolar <i>NRZ</i> bit informasi	33
Gambar 3. 6	Encoder bipolar <i>NRZ</i> chip.....	33
Gambar 3. 7	Periode bit vs periode chip.....	34
Gambar 3. 8	Fungsi Autokorelasi diskrit.....	35
Gambar 3. 9	Fungsi Autokorelasi.....	35
Gambar 3. 10	Diagram konstelasi <i>BPSK</i>	36
Gambar 3. 11	Sinyal hasil modulasi <i>BPSK</i>	37
Gambar 3. 12	Sinyal hasil demodulasi <i>BPSK</i>	37
Gambar 3. 13	Susunan <i>pilot</i> dan <i>symbol</i>	38
Gambar 3. 14	Respon <i>impulse filter square-root raised-cosine</i>	39
Gambar 3. 15	Kondisi kanal nirkabel diruangan <i>indoor</i>	40

Gambar 3. 16	Range frekuensi IEEE 802.11g	41
Gambar 3. 17	Perancangan DSSS dengan <i>jamming</i>	41
Gambar 3. 18	Grafik RSSI vs Daya Input MAX2829.....	42
Gambar 3. 19	Tx Output Power vs Gain Setting MAX2829.....	44
Gambar 3. 20	Rx <i>Voltage Gain</i> vs <i>Baseband Gain Setting</i>	45
Gambar 3. 21	Skema <i>node</i> pengirim dan <i>node</i> penerima.....	46
Gambar 3. 22	<i>Node</i> sinyal <i>jamming</i>	46
Gambar 3. 23	Pengaturan IP pada PC (1)	47
Gambar 3. 24	Pengaturan IP pada PC (2)	47
Gambar 3. 25	Indikator terkoneksi antara PC (1) dengan WARP.....	48
Gambar 3. 26	Indikator terkoneksi antara PC (2) dengan WARP.....	48
Gambar 3. 27	<i>Bandwidth</i> bit informasi	49
Gambar 3. 28	<i>Bandwidth</i> chip.....	50
Gambar 3. 29	<i>Bandwidth</i> bit informasi vs bit chip.....	50
Gambar 3. 30	<i>Power Spectral Density baseband</i>	51
Gambar 3. 31	<i>Upconvert</i> 7 MHz.....	51
Gambar 3. 32	Spektrum <i>baseband</i> dan <i>passband</i>	52
Gambar 3. 33	<i>Single tone jamming</i> pada frekuensi 7 Mhz.....	53
Gambar 3. 34	<i>Single tone jamming</i> dalam domain waktu.....	53
Gambar 3. 35	<i>Multi tone jamming</i> pada frekuensi 7 Mhz dan 8 Mhz.....	54
Gambar 3. 36	<i>Multi tone jamming</i> dalam domain waktu	54
Gambar 3. 37	<i>Single tone jamming</i> pada frekuensi kerja sistem.....	55
Gambar 3. 38	<i>Multi tone jamming</i> pada frekuensi kerja dan dibawah frekuensi kerja sistem	55
Gambar 3. 39	Spektrum sinyal diterima.....	56
Gambar 4. 1	Diagram alir pengukuran sistem.....	58
Gambar 4. 2	Grafik BER WARP BPSK vs teori BPSK.....	59
Gambar 4. 3	BER dengan <i>PN sequence</i> dan tanpa <i>PN sequence</i>	61
Gambar 4. 4	Grafik BER vs Daya <i>single tone jamming</i> pada frekuensi kerja 2,447 GHz.....	64
Gambar 4. 5	Grafik BER vs Daya <i>single tone jamming</i> pada frekuensi kerja 2,448 GHz.....	65
Gambar 4. 6	Grafik BER vs Daya <i>single tone jamming</i> pada frekuensi kerja 2,446 GHz.....	66
Gambar 4. 7	Grafik BER vs Daya <i>single tone jamming</i> pada tiga kondisi	67
Gambar 4. 8	Grafik BER vs Daya sinyal <i>tone jamming</i> pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,448 GHz	68

Gambar 4. 9	Grafik BER vs Daya sinyal <i>jamming</i> pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,446	70
Gambar 4. 10	Grafik BER vs Daya sinyal <i>jamming</i> pada frekuensi 2,446 GHz dan 2,448 GHz	71
Gambar 4. 11	Grafik BER <i>multi tone</i> tiga kondisi	72
Gambar 4. 12	Grafik BER <i>single tone</i> vs <i>multi tone jamming</i>	73
Gambar 4. 13	Grafik BER <i>single tone</i> vs <i>multi tone jamming</i>	74
Gambar 4. 14	Grafik BER <i>single tone</i> vs <i>multi tone jamming</i>	74
Gambar 4. 15	Grafik BER <i>single tone</i> vs <i>multi tone jamming</i>	75
Gambar 4. 16	Grafik BER <i>single tone</i> vs <i>multi tone jamming</i>	76
Gambar 4. 17	Grafik BER <i>single tone</i> vs <i>multi tone jamming</i>	76
Gambar 4. 18	<i>Bandwidth passband</i> frekuensi kerja 2,447 GHz.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Kondisi flip-flop dari stage 3 pada generator PN	15
Tabel 3. 1	Desain parameter sistem komunikasi DSSS	30
Tabel 3. 2	PN-Generator 3 stage	34
Tabel 3. 3	Parameter desain <i>raised cosine filter</i> dan <i>matched filter</i> ...	39
Tabel 3. 4	Nilai daya input terhadap RSSI pada LNA low gain.....	43
Tabel 4. 1	Perbandingan nilai BER BPSK pada WARP dan Teori....	59
Tabel 4. 2	Hasil pengukuran BER BPSK dan DSSS.....	60
Tabel 4. 3	Data pengukuran pada frekuensi <i>jamming</i> 2,447 GHz	63
Tabel 4. 4	Data pengukuran pada frekuensi <i>jamming</i> 2,448 GHz	64
Tabel 4. 5	Data pengukuran pada frekuensi <i>jamming</i> 2,446 GHz	66
Tabel 4. 6	Data pengukuran pada frekuensi <i>jamming</i> 2,447 GHz dan 2,448 GHz	68
Tabel 4. 7	Data pengukuran pada saat frekuensi <i>jamming</i> 2,447 GHz dan 2,446 GHz.....	69
Tabel 4. 8	Data pengukuran pada saat frekuensi <i>jamming</i> 2,446 GHz dan 2,448 GHz.....	71



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam proses pengiriman data, khususnya dunia komunikasi taktis atau militer, sistem yang aman dan tahan terhadap gangguan *jamming* menjadi hal utama. Salah satu metode yang dibutuhkan akan sistem komunikasi tersebut harus mengatasi masalah interferensi, dapat menjamin kerahasiaan informasi yang dikirim dan dapat beroperasi pada tingkat *Signal to Noise Ratio* (S/N) yang rendah atau tahan terhadap *noise*/derau yang besar. *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) adalah metode yang tepat untuk mengatasi hal ini. Teknik ini adalah sebuah teknik transmisi dimana kode *pseudo noise* digunakan sebagai gelombang modulasi untuk menyebarkan energi sinyal melalui bandwidth yang jauh lebih besar dari bandwidth sinyal informasi.

Software Define Radio (SDR) akan menjadi sebuah perangkat yang dapat memvisualisasikan sistem komunikasi yang tahan terhadap *jamming*. Banyak SDR yang telah diproduksi dalam dunia telekomunikasi, namun baru-baru ini ada SDR yang bersifat *open-source* yaitu *Wireless Access-Open Research Platform* (WARP). Salah satu keunggulan dari WARP adalah dapat diprogram dengan *software* MATLAB serta pengembangan versi terbaru dapat diupdate dengan MATLAB. WARP menawarkan tingkat *fleksibilitas* yang tinggi, artinya bahwa perubahan parameter seperti modulasi, penguatan *baseband*, penguatan *Radio Frekuensi* (RF) dapat diganti pada sisi *software* sesuai dengan kebutuhan, sehingga lebih *efisien* dalam mendesain sistem komunikasi. WARP dapat beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dan 5 GHz (IEEE 802.11a/b/g), sehingga dalam perancangan dapat divisualisasikan secara nyata/*real* dan dapat dilihat kinerja sistem apabila diberi gangguan *jamming*. Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian sistem DSSS yang akan diimplementasikan pada *hardware* WARP yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz (IEEE 802.11g) sehingga nantinya sistem ini mampu mengatasi gangguan *Single Tone Jamming* (STJ) dan *Multi Tone Jamming* (MTJ) yang berada disekitar frekuensi kerja sistem DSSS. Dengan simulasi ini diharapkan mampu mengetahui kinerja sistem pada WARP yang ditampilkan dalam bentuk grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap variasi nilai daya sinyal *jamming*.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana mendesain blok *transceiver* DSSS dan parameter lain pada MATLAB yang terintegrasi pada *node* WARP ?
2. Bagaimana mendesain blok *jamming* yang terintegrasi dengan *node* WARP ?
3. Bagaimana mengevaluasi kinerja sistem DSSS terhadap *single tone jamming* dan *multi tone jamming* yang diimplementasikan menggunakan WARP ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Menggunakan WARPLab versi 7 untuk menganalisa hasil keluaran sistem.
2. Implementasi sistem dan pengukuran terbatas pada perangkat WARP.
3. Pemodelan sistem modulasi dan demodulasi DSSS menggunakan *software* MATLAB.
4. *Jamming* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *single tone jamming* dan *multi tone jamming*.
5. Frekuensi *carrier* yang digunakan adalah 2,4 GHz.
6. Dalam pengambilan nilai BER tidak berdasarkan perbedaan *polynomial* pada *PN sequence generator*.
7. Pemodelan kanal transmisi untuk menghubungkan *modulator* dengan *demodulator* menggunakan kanal nirkabel yang berada dilingkungan *indoor*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu mendesain blok *transceiver* DSSS pada MATLAB yang terintegrasi dengan *node* WARP.
2. Mampu mendesain blok *transceiver* DSSS yang diberi gangguan *jamming singletone* dan *multitone*.
3. Mengetahui perbandingan antara sistem DSSS dan tanpa DSSS jika diberi gangguan *jamming single tone* dan *multi tone*.
4. Mengetahui keunggulan dari sistem DSSS jika dibandingkan dengan sistem tanpa DSSS.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur dan diskusi, yaitu dengan mengumpulkan bahan dan mempelajari buku-buku yang berkaitan dengan tugas akhir ini seperti simulasi sitem komunikasi DSSS, desain teknik modulasi digital, referensi pemrograman modul WARP, referensi WARPLab. Dalam studi literatur juga dilakukan diskusi dengan dosen pembimbing.
2. Perumusan parameter kinerja dan metode pengukuran, yaitu dengan menentukan band frekuensi pengukuran, informasi yang akan dikirim, jumlah bit yang akan dikirimkan, kondisi *frame* pada saat dipancarkan. Parameter yang diambil sebagai acuan kinerja dari sistem adalah BER.
3. Simulasi sistem komunikasi, akan dilakukan pada MATLAB untuk mengetahui algoritma yang digunakan agar sesuai dengan teori sistem komunikasi.
4. Tahap perancangan dan implementasi, pada tahap ini dilakukan perancangan sistem modulasi dan demodulasi DSSS serta integrasi antara *software* WARPLab versi 7 dan *hardware* sehingga sistem yang telah dibuat dapat diimplementasikan ke dalam modul WARP yang berada dilingkungan *indoor* secara real.
5. Tahap pengujian sistem dan analisa, pada tahapan ini sistem yang sudah dirancang akan diimplementasikan secara real ke dalam *software* WARPLab versi 7, sehingga dapat berfungsi sebagai *modulator*, *demodulator*, maupun *transceiver*.
6. Dokumentasi penelitian, adapun dalam tahapan akhir ini meliputi pembuatan laporan yang dibuat berupa buku tugas akhir dan jurnal ilmiah yang telah sesuai dengan format yang berlaku.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bab dengan rincian :

BAB I : PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat yang berkaitan dengan pengerjaan dan penyusunan, serta hasil yang diinginkan dalam tugas akhir ini.

BAB II : DASAR TEORI

Dikemukakan berbagai macam dasar teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas, antara lain meliputi teori tentang modulasi dan demodulasi DSSS, konsep WARPLab 7 serta modul WARP.

BAB III : PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Berisi tentang tahap-tahap perancangan sistem modulasi dan demodulasi DSSS dan penambahan *jamming* pada sistem, integrasi *software* MATLAB dengan WARPLab versi 7 dan *hardware*, dan implementasi sistem pada modul WARP.

BAB IV : PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM

Pada bab ini dibahas mengenai pengukuran dari sistem yang telah diimplementasikan dan analisa data berdasarkan parameter yang ditetapkan.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dalam tugas akhir ini.

1.7 Manfaat

Manfaat yang diharapkan tercapai pada proses penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kendala dalam proses desain sistem komunikasi dan mampu menyelesaikannya.
2. Memahami kinerja dari sistem komunikasi khususnya pada sistem DSSS.
3. Membangun *transceiver* pada WARP yang nantinya bisa menjadi acuan dalam sistem DSSS.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Spread Spectrum

Spread spectrum adalah suatu teknik pengiriman sinyal informasi yang menggunakan kode chip untuk menebarkan spektrum energi sinyal informasi dalam pita frekuensi yang jauh lebih besar dari spektrum minimal yang dibutuhkan untuk menyalurkan suatu informasi. Sistem komunikasi *spread spectrum* berguna untuk menekan adanya *jamming*. Konsep ini didasarkan pada teori C.E Shannon untuk kapasitas saluran [1]:

$$C = W \log_2 (1 + S/N) \quad (2.1)$$

Dimana:

- C = Kapasitas kanal transmisi (*bps*)
- W = Lebar pita frekuensi transmisi (*Hz*)
- S = Daya Sinyal (*Watt*)
- N = Daya Noise (*Watt*)

Dari teori 2.1 untuk menyalurkan informasi yang lebih besar pada kanal dengan *noise* dapat ditempuh menggunakan dua cara. Yang pertama dengan cara memperkecil lebar pita frekuensi W dan memperbesar nilai S/N . Yang kedua dengan penyebaran spektrum, dimana memperbesar lebar pita frekuensi W dan memperkecil nilai S/N .

Ada beberapa teknik modulasi yang dapat digunakan untuk menghasilkan *spectrum* sinyal tersebar antara lain [1]:

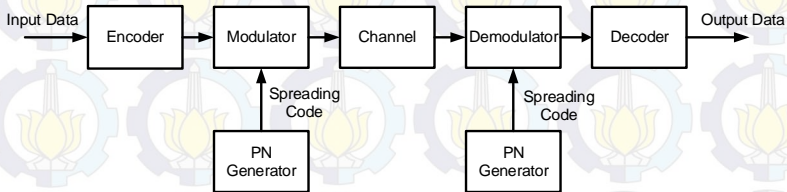
1. *Direct Sequence*, yaitu teknik modulasi dimana data digital dikodekan dengan *chip* yang mempunyai kecepatan lebih tinggi dari kecepatan bit informasi. Kode *chip* tersebut dibangkitkan secara random, kode bit tersebut juga digunakan pada sisi penerima untuk mendapatkan sinyal informasi seperti semula.
2. *Frequency Hopping*, yaitu teknik modulasi dimana data akan ditransmisikan pada frekuensi yang berbeda-beda atau berpindah-pindah (*Hopping*) dalam waktu yang cepat.
3. *Hybrid*, yaitu teknik modulasi gabungan antara *direct sequence* dan *frequency hopping*.

Secara umum sistem komunikasi *spread spectrum* dibedakan oleh tiga elemen [3], yaitu:

1. *Bandwidth* sinyal yang lebih besar daripada kebutuhan sinyal informasi yang dikirimkan.
2. *Bandwidth* yang disebar menggunakan bantuan kode yang *independent* terhadap data informasinya.
3. Pada *receiver* kode yang *independent* tersebut digunakan untuk *recovery* data informasi. Sehingga diperlukan adanya sinkronisasi antara pemancar dan penerima.

2.2 Direct Sequence

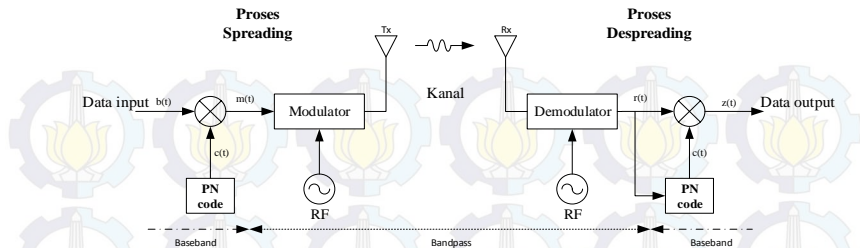
Salah satu teknik sistem komunikasi *spread spectrum* adalah *direct sequence*. *Direct sequence* merupakan teknik *spread spectrum* yang paling luas dikenal dan banyak digunakan, karena sistem ini paling mudah diimplementasikan dan mempunyai data rate yang tinggi. *Direct sequence* menggunakan kode unik untuk menebarkan sinyal *baseband* yang akan dimodulasi digital bersama sinyal informasi [2].



Gambar 2. 1 Model umum sistem DSSS [2].

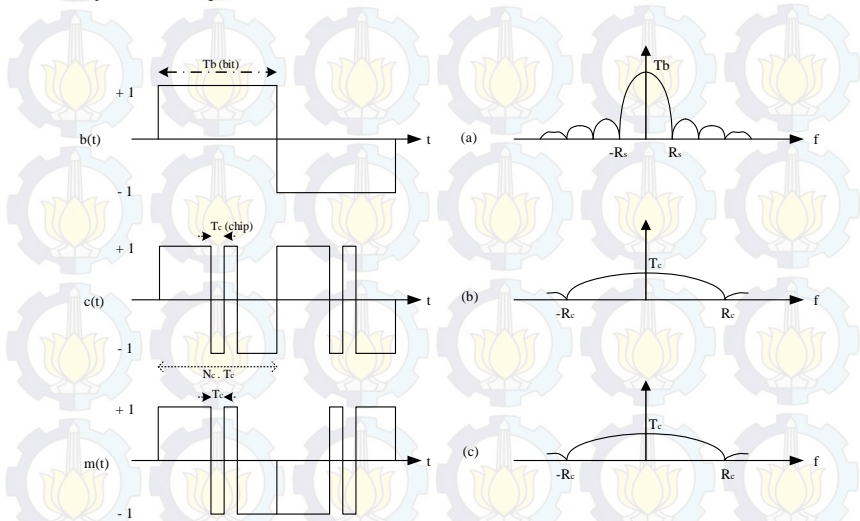
2.2.1 Prinsip Kerja Direct Sequence

Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa *direct sequence spread spectrum* (DSSS) pada sisi pengirim sinyal informasi dikalikan dengan suatu data rate bit *sequence* yang lebih tinggi, yang dikenal sebagai *chipping code*. Prinsipnya adalah menebarkan sinyal informasi dengan sinyal acak yang dihasilkan oleh *pseudo random*. Sehingga akan menghasilkan sinyal baru dengan lebar periode sinyal yang sama dengan *pseudo noise*. Kemudian sinyal tersebut dimodulasi terlebih dahulu sebelum dipancarkan melalui antena.



Gambar 2. 2 Blok diagram pemancar dan penerima DSSS [1].

Pada proses *spreading* yang terjadi pada sisi pengirim, data biner secara langsung dikalikan dengan PN sequence yang *independent* terhadap data biner. Efek dari perkalian tersebut adalah untuk merubah bandwidth sinyal R_b menjadi bandwidth baseband R_c .

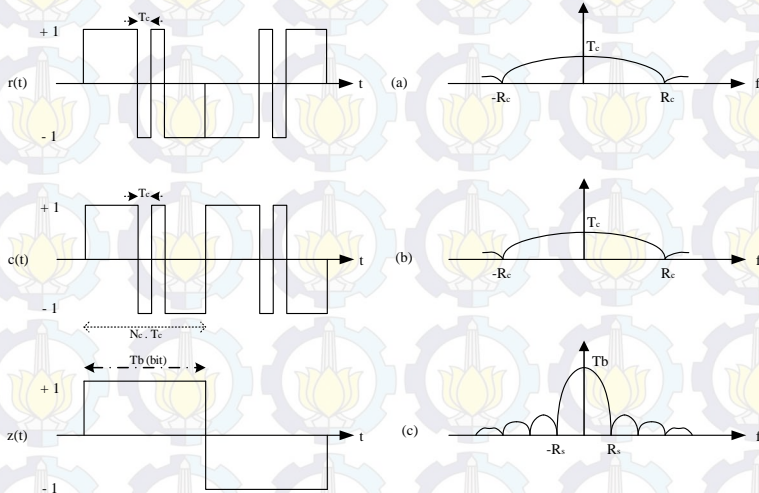


Gambar 2. 3 Sinyal Spreading (a) Data informasi dan *power spectral density*. (b) Data chip(PN-sequence) dan *power spectral density*. (c) Data sinyal spreading dan *power spectral density*[1].

Pada penerima, sinyal baseband yang diterima $r(t)$ dikalikan terlebih dahulu dengan PN sequence pada sisi penerima $c(t)$.

- Jika $c(t)_{tx} = c(t)_{rx}$ dan disinkronkan dengan PN sequence yang ada pada penerima, maka data biner dapat dikembalikan menjadi sinyal $z(t)$.
- Jika $c(t)_{tx} \neq c(t)_{rx}$ maka data tidak dapat dikembalikan lagi seperti semula seperti pada $b(t)$.

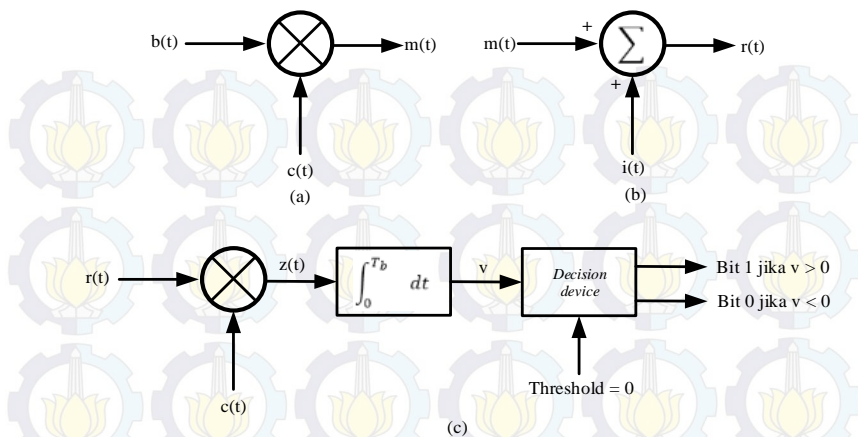
Untuk lebih mendeskripsikan proses *spreading* dan *despreading* pada DSSS bisa dilihat pada gambar 2.3 dan gambar 2.4 .



Gambar 2. 4 Sinyal Despreading (a) Data sinyal despreading dan *power spectral density*. (b) Data chip (PN-sequence) dan *power spectral density*. (c) Data informasi dan *power spectral density*[1].

Sinyal informasi $b(t)$ yang awalnya berupa *narrowband* akan dikalikan secara langsung dengan sinyal PN $c(t)$ yang berupa *wideband* sehingga akan menghasilkan sinyal $m(t)$ yang mempunyai spektrum hampir sama dengan *wideband* sinyal PN atau bisa dinamakan dengan kode chip spreading. Untuk transmisi *baseband*, dapat dilihat sinyal $m(t)$ pada sisi pengirim memiliki persamaan sebagai berikut[5] :

$$m(t) = c(t)b(t) \quad (2.2)$$



Gambar 2. 5 Model sistem *spread spectrum baseband* ideal. (a) Sisi pengirim. (b) Kanal. (c) Sisi penerima[5].

Sinyal yang diterima $r(t)$ terdiri dari sinyal yang dikirim ditambah dengan *interferensi* $i(t)$, model kanal pada gambar 2.5 (b), sehingga persamaan menjadi [5]:

$$\begin{aligned} r(t) &= m(t) + i(t) \\ &= c(t)b(t) + i(t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Untuk mengembalikan sinyal asli $b(t)$, pada sinyal penerima $r(t)$ diaplikasikan *demodulator* yang terdiri dari *integrator* dan *decision device* yang dapat dilihat pada gambar 2.5 (c). Pada sisi penerima sinyal $c(t)$ merupakan sinyal yang dibangkitkan oleh *PN sequence*, dimana sinyal ini merupakan sinyal replika yang digunakan di sisi pengirim. Kita anggap pada penerima memiliki sinkronisasi yang sempurna dengan pengirim. Pada sisi penerima dapat dijelaskan pada persamaan berikut :

$$\begin{aligned} z(t) &= c(t) + r(t) \\ &= c^2(t)b(t) + c(t)i(t) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Pada persamaan 2.4 terlihat bahwa data sinyal $b(t)$ dikalikan dua kali dengan sinyal PN $c(t)$, tetapi pada sinyal $i(t)$ dikalikan hanya satu kali.

Karena sinyal PN $c(t)$ mempunyai nilai level -1 dan +1 , sehingga mempunyai persamaan :

$$c^2(t) = 1 \quad , \text{ untuk semua nilai } t \quad (2.5)$$

Sehingga , persamaan 2.4 dapat kita sederhanakan sebagai berikut :

$$z(t) = b(t) + c(t)i(t) \quad (2.6)$$

Dari persamaan 2.6 dapat dilihat bahwa sinyal $b(t)$ diproduksi kembali pada proses perkalian yang dilakukan di penerima, kecuali efek dari interferensi, sinyal interferensi tetap pada kondisi *wideband*. Diketahui bahwa komponen data $b(t)$ merupakan *narrowband*, sedangkan komponen *spurious* $c(t)i(t)$ merupakan *wideband*. Pada sisi penerima hal yang menyebabkan sinyal kembali seperti semula adalah *baseband low-pass filter* dengan *bandwidth* yang cukup untuk memproduksi ulang sinyal $b(t)$, dan sinyal $c(t)i(t)$ akan mengalami redaman. Langkah selanjutnya adalah melakukan keputusan seperti pada gambar 2.5 (c) apabila v mempunyai nilai lebih besar nol maka merupakan bit 1 sebaliknya apabila v kurang dari nol maka merupakan bit 0.

Hal mendasar dari sistem *spread spectrum* adalah berapa besar pengamanan dari *spreading* dapat menanggulangi sinyal *jamming* dengan daya yang terbatas. Pengaruh *Processing Gain* (PG) dari *spread spectrum* terhadap pelebaran *bandwidth* sinyal transmisi yang ditunjukan oleh Gambar 2.4 dapat dicari melalui analisa keseluruhan sistem DSSS. PG pada DSSS didefinisikan oleh persamaan 2.2. [1]

$$PG = \frac{T_b}{T_c} = \frac{R_c}{R_b} = \frac{B_{ss}}{2R_b} \quad (2.7)$$

Dimana :

T_b : Periode bit input (s)

T_c : Periode chip (s)

R_c : Laju chip (bps)

R_b : Laju bit data input (bps)

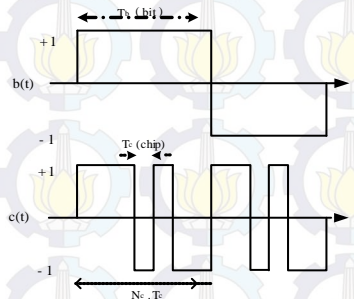
B_{ss} : Bandwidth spread spectrum (Hz)

2.3 Pseudo Noise (PN) Sequence

Dapat juga disebut *pseudorandom sequence* adalah biner *sequence* dengan autokorelasi yang mirip dalam satu periode. Pada sistem DSSS *pseudorandom sequence* sangat berperan dalam proses *spreading* dan *despreading* dari sinyal *baseband*. PN code mempunyai satuan *chips*, yang merupakan sinyal yang dapat memperlebar atau memperbesar laju informasi.

PN code tidak benar-benar bersifat acak, tetapi merupakan sinyal periodik yang diketahui baik oleh sistem pengirim maupun sistem penerima. Ada 3 kriteria dasar yang dapat diterapkan pada setiap sekuensi biner untuk memeriksa keacakan yang dibangkitkan [3], yaitu :

- Balance property*. Dibutuhkan pada setiap periode sekuensi, dimana perbedaan antara banyaknya jumlah biner 0 dan biner 1 paling banyak adalah satu digit.
- Run property*. Didefinisikan sebagai sekuensi dari satu tipe tunggal dari digit biner. Tampilan digit alternatif dalam satu sekuensi menjalankan *run* yang baru. Panjang suatu *run* adalah jumlah digit pada *run* tersebut.
- Correlation property*. Jika periode sekuensi dibandingkan untuk setiap tingkat, sangat baik bila jumlah yang diterima dibandingkan jumlah yang gagal tidak lebih dari 1.



Gambar 2. 6 Contoh penggunaan PN code dengan Periode $N = 2^m - 1$ untuk $m = 3$.

Pada gambar 2.6 ditunjukkan sinyal asli $b(t)$ dengan periode T_b dan sinyal $c(t)$ dari PN dengan periode T_c yang diketahui bahwa mempunyai durasi chip yang lebih kecil dari durasi sinyal $b(t)$, hal ini menyebabkan spektrum dapat melebar dalam domain frekuensi.

Periode dari *maximum-length sequence* didefinisikan sebagai berikut[4] :

$$N = 2^m - 1 \quad (2.8)$$

Dimana m merupakan panjang dari *shift register*. Simbol biner 0 dan 1 dari *sequence* akan diubah menjadi level -1 dan +1. Sinyal $c(t)$ dapat dilihat pada gambar 2.5, terlihat bahwa *maximal-length sequence* dihasilkan untuk $N = 7$. Periode dari sinyal $c(t)$ adalah[4] :

$$T_b = NT_c \quad (2.9)$$

Dimana T_c adalah durasi ketetapan untuk chip 1 dan 0 pada *maximal-length sequence*. Dapat diartikan bahwa fungsi autokorelasi periode sinyal $c(t)$ dari periode T_b adalah sebagai berikut[4] :

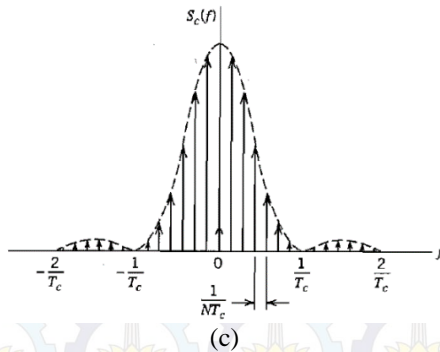
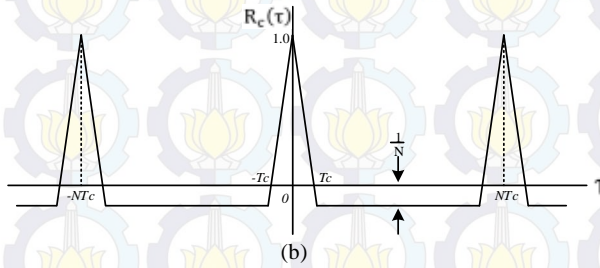
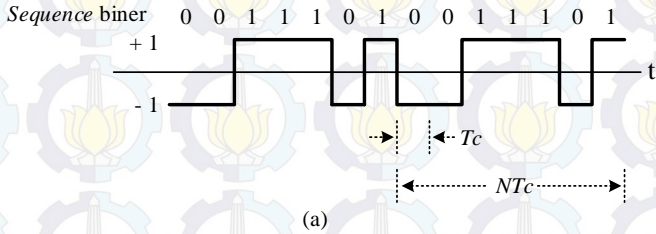
$$R_c(\tau) = \frac{1}{T_b} \int_{-T_b/2}^{T_b/2} c(t) c(t - \tau) dt \quad (2.10)$$

Dimana τ pada interval $(-T_b/2, T_b/2)$, ditunjukkan pada persamaan 2.10. Dengan syarat *maximal-length sequence* kita dapat memperoleh persamaan $c(t)$ sebagai berikut [4]:

$$R_c(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{N+1}{NT_c} |\tau|, & |\tau| \leq T_c \\ -\frac{1}{N}, & \text{untuk selisih 1} \end{cases} \quad (2.11)$$

Dari teori transformasi *fourier* kita tahu bahwa periodisitas pada *domain* waktu akan ditransformasikan kedalam sampling *uniform* di *domain* frekuensi. Sehingga dapat dilihat *power spectral density maximal-length sequence* sinyal $c(t)$. Transformasi *fourier* dari persamaan 2.10 kita dapat memperoleh sampel spektrum sebagai berikut [5]:

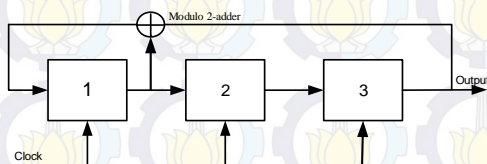
$$S_c(f) = \frac{1}{N^2} \delta(f) + \frac{1+N}{N^2} \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} \text{sinc}^2\left(\frac{n}{N}\right) \delta\left(f - \frac{n}{NT_c}\right) \quad (2.12)$$



Gambar 2. 7 Auto Korelasi (a) Bentuk sinyal dari *maximal-length sequence* untuk $m = 3$ atau dengan periode $N = 7$. (b) Fungsi autokorelasi . (c) *Power spectral density*.

Hasil telah ditampilkan pada gambar 2.7(b) pada kasus $m = 3$ sehingga $N = 7$.

Salah satu cara untuk menghasilkan sinyal PN adalah dengan menggunakan *Maximum Length Sequences* (MLS), yang menggunakan konsep polynomial. Suatu MLS dibentuk dari gabungan *shift register* dan kumpulan sirkuit *logic* pada sistem *feedback*-nya, serta *clock* untuk mengatur periode pembangkitan *chip* pada deretan bit-bit sekuensi [1].



Gambar 2. 8 Diagram MLS PN Generator [1]

Dari gambar 2.8, *PN sequence* dihasilkan oleh *Pseudo Random Generator* (PRG), yang terdiri dari beberapa bagian. Sebuah *feedback shift register* mempunyai 3 tingkat register untuk menyimpan dan menggeser, sebuah *modulo-2 adder*, dan jalur *feedback* dari *adder* ke input register. Operasi *shift register* dikontrol oleh sekuensi pulsa *clock*. Pada setiap pulsa *clock*, isi dari setiap tingkat bergeser satu tingkat ke kanan. Selanjutnya isi dari tingkat 2 dan 3 ditambahkan dan hasilnya diumpan balik ke 1.

Shift register menghasilkan sekuensi yang tergantung pada banyaknya tingkat, hubungan *feedback tap*, dan kondisi inisiasi. Untuk setiap N tingkat umpan balik linear, sekuensi mengulang pada periode *clock* menurut persamaan 2.8.

Setelah 7 kali *clock* bit maka isi dari bit yang telah digeser dan di XOR akan kembali ke pola awalnya. Untuk memperoleh kode *PN-Sequence* yang digunakan, maka dilakukan pengambilan dan isi dari *shift register* 3 untuk setiap *clock* yang terjadi selama 7 *clock* yang terjadi, maka untuk satu sekuensi bit akan diperoleh :

1 0 0 1 1 1 0

Tabel 2. 1 Kondisi flip-flop dari stage 3 pada generator PN [1]

Shift	Konten		
	Stage 1	Stage 2	Stage 3
Initial	0	0	1
1	1	0	0
2	1	1	0
3	1	1	1
4	0	1	1
5	1	0	1
6	0	1	0
7	0	0	1
8	1	0	0
9	1	1	0
10	1	1	1
11	0	1	1
12	1	0	1
13	0	1	0
14	0	0	1
15	1	0	0
16	1	1	0
17	1	1	1
18	0	1	1
19	1	0	1
20	0	1	0
21	0	0	1
22	1	0	0
23	1	1	0
24	1	1	1
25	0	1	1
26	1	0	1
27	0	1	0
28	0	0	1
29	1	0	0
30	1	1	0

31	1	1	1
32	0	1	1
33	1	0	1
34	0	1	0
35	0	0	1
36	1	0	0
37	1	1	0
38	1	1	1
39	0	1	1
40	1	0	1
41	0	1	0
42	0	0	1
43	1	0	0
44	1	1	0
45	1	1	1
46	0	1	1
47	1	0	1
48	0	1	0
49	0	0	1
50	1	0	0
51	1	1	0
52	1	1	1
53	0	1	1
54	1	0	1
55	0	1	0
56	0	0	1
57	1	0	0
58	1	1	0
59	1	1	1
60	0	1	1
61	1	0	1
62	0	1	0
63	0	0	1

Penjelasan untuk tabel 2.1 adalah sebagai berikut, stage 1,2 dan 3 merupakan bit-bit initial, keluaran pertama adalah input dari stage 3 kemudian diumpan balikkan ke stage 1 dengan di XOR kan stage 2 yang kemudian menjadi input stage 1. Stage 1 bergeser menuju stage 2 dan stage 2 bergeser menuju stage 3. Sistem ini akan berulang dan akan menemukan perulangan yang sama.

Perancangan PN *sequence generator* mengacu pada persamaan di bawah ini yang merupakan persamaan daya spektrum sinyal *spread spectrum* :

$$S_{ss}(t) = \sqrt{\frac{2Eb}{Tb}} b(t)c(t)\cos(2\pi f_c t + \theta) \quad (2.13)$$

Dimana :

$b(t)$: sekuensi data dengan durasi T_b

$c(t)$: jumlah chip dengan durasi T_c

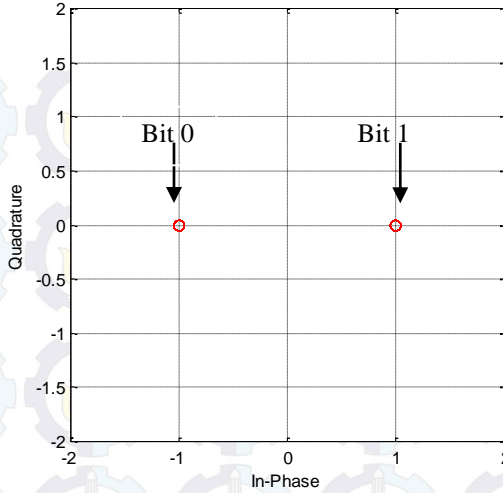
f_c : frekuensi sinyal pembawa pada modulasi (Hz)

2.4 Modulasi BPSK

Modulasi merupakan proses *switching* antara sinyal yang berbeda untuk mentransmisikan informasi yang sudah dikodekan. Secara umum gelombang pembawa modulasi dapat dinyatakan oleh persamaan berikut [2] :

$$S(t) = A \sin(2\pi f t + \theta) \quad (2.14)$$

Ada beberapa macam jenis modulasi pada transmisi digital yaitu ASK, FSK, PSK. Pada tugas akhir ini modulasi yang digunakan adalah modulasi BPSK. Modulasi BPSK merupakan skema modulasi digital yang dapat digunakan untuk gelombang dengan frekuensi tinggi. Modulasi BPSK banyak dianggap sebagai bentuk efisiensi dari proses modulasi data sebab modulasi BPSK mempunyai probabilitas error yang kecil pada setiap level sinyal yang diterima. Modulasi BPSK dapat dipresentasikan oleh suatu kontelasi pada sistem koordinat dua dimensi. Sebagai contoh bisa dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Contoh konstelasi modulasi BPSK

2.4.1 BER Pada Modulasi BPSK

Dalam pengiriman bit, pada bagian penerima dapat terjadi kesalahan yang biasa disebut *probabilitas error bit* $P(b)$. Untuk menunjukkan kinerja sistem, digunakan probabilitas error yang nantinya didapatkan nilai *bit error rate*. Pada modulasi yang dilakukan oleh sistem *transmitter* BPSK dapat dinyatakan bahwa bit “0” dikirim oleh sinyal modulasi dengan amplitudo V_0 dan bit “1” dengan amplitudo V_1 . Sedangkan pada sistem *receiver* bit “0” diterima dengan amplitudo S_0 dan bit “1” dengan amplitudo S_1 .

Pada sistem BPSK diketahui bahwa amplitudo dari masing-masing bit yang diterima terdistribusi secara acak dengan nilai rata-rata sama dengan nilai amplitudo pada proses pengiriman dan nilai variansi sama dengan besar level *noise*. Sehingga setelah diturunkan persamaan akhir BER pada sistem modulasi BPSK adalah [3] :

$$P(b) = Q\left(\sqrt{\frac{2Eb}{N_0}}\right) \text{ atau } P(b) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{Eb}{N_0}}\right) \quad (2.15)$$

Dimana :

E_b : Energi bit (*Joule*)

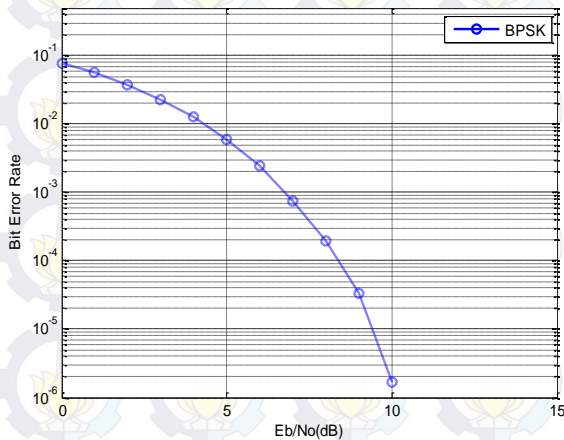
N_0 : Rapat Daya Noise (dB/Hz atau Watt/Hz)

Erfc : Fungsi error

Karena erfc adalah fungsi yang monoton turun, dapat disimpulkan bahwa:

1. BER berbanding lurus dengan perbedaan amplitudo bit '1' dan '0'
2. BER berbanding lurus dengan *noise*.

Pada gambar 2.10 dapat dilihat bahwa semakin besar energi bit terhadap rapat daya noise mengakibatkan nilai BER juga semakin kecil. Gambar 2.10 merupakan representasi dari persamaan (2.15).



Gambar 2. 10 Grafik *bit error rate* BPSK [2]

2.5 Kanal AWGN

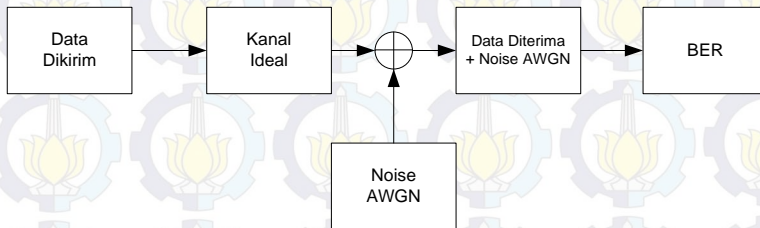
Model kanal yang paling dikenal adalah kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), dimana *white noise* adalah *noise* dengan kerapatan spektral daya merata pada semua komponen frekuensi. Kanal AWGN adalah kanal ideal, yang berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim, artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* yang tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Kanal AWGN didefinisikan mempunyai sifat seperti berikut [2] :

1. Kanal menyediakan transmisi bebas *error* dalam *bandwidth* B , dengan memberikan penguat untuk menangani rugi-rugi tanrsmisi.
2. Kanal membatasi input dari sumber sebagai sinyal pita terbatas $x(t)$ dan daya rata-rata s .
3. Sinyal yang diterima pada tujuan tekontaminasi oleh penjumlahan dengan *white Gaussian noise* $n(t)$ dengan *bandwidth* B , dan daya *noise* $N = \eta B$ dimana η adalah kerapatan spektral daya *noise*.
4. Sinyal daya *noise* bersifat *independent*
 $r(t) = x(t) + n(t)$ dan $r^2(t) = x^2(t) + n^2(t) = S + N$

Untuk kapasitas kanal dapat dirumuskan seperti persamaan (2.1).

Persamaan diatas dikenal sebagai Hukum Shannon-Hartley. Persamaan ini memberikan batas atas untuk transmisi informasi dalam kanal AWGN pita terbatas, yaitu sebagai berikut :

$$C \leq B \log_2(1 + S/N) \quad (2.16)$$



Gambar 2. 11 Pemodelan Kanal AWGN

2.6 Model Jamming

Pada dasarnya *jamming* adalah sinyal dari luar sistem yang bertujuan untuk mengganggu sinyal informasi. Sebuah *jammer* dapat menggunakan beberapa strategi masing-masing yang memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri dan mungkin menjadi strategi "terbaik" terhadap seperangkat target tertentu[4].

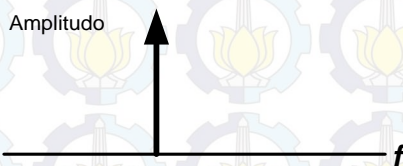
Selanjutnya ada jenis *tone jamming*, jenis ini dapat diterapkan pada sinyal *Anti-Jamming* (AJ) DSSS dan FHSS. Terdapat dua macam *tone jamming* yaitu *single tone* dan *multiple tone*. *Multiple tone* juga dapat diterapkan di kedua jenis sinyal AJ. *Multiple tone jamming* disebut juga *multitone* atau MT[4].

Ada dua bentuk gelombang dasar yang biasanya digunakan untuk melawan sistem komunikasi AJ. Pertama adalah sinyal pembawa yang berpusat pada frekuensi transmisi disebut *unmodulated*, di modulasi dengan satu atau lebih sinyal *tone*, atau di modulasi dengan sinyal *noise tone*. Lebar pita *noise* bidang bervariasi, ketika *carrier* tidak di modulasi maka gelombang *jamming* merupakan *single tone*. Ketika di modulasi dengan lebih dari satu *tone*, maka *multiple tone* dipancarkan oleh *jammer*. Biasanya penempatan *tone* berdasarkan pada pengetahuan tentang target atau target yang di-*jam*. *Noise tone* digunakan untuk meningkatkan *background noise* di spektrum yang mana sistem AJ beroperasi[4].

Pengelompokan strategi *jamming* terdiri atas bagaimana daya *jammer* yang tersedia didistribusikan dengan frekuensi, jenis modulasi yang ditransmisikan, waktu bagi *jammer* di antara beberapa target, dan pembagian daya, di mana daya sesaat dapat didistribusikan di antara beberapa target. Dalam tugas akhir ini akan menggunakan 2 jenis *jamming*, yaitu *Single Tone Jamming* dan *Multiple Tone Jamming*[4].

2.6.1 Single Tone Jamming

Pada *single tone* ini sinyal *jamming* ditransmisikan di frekuensi tunggal, ditunjukkan pada gambar 2.12. Dengan demikian, sinyal *jamming* merupakan sebuah pola *Continuous Wave* (CW) yang diletakkan di frekuensi tunggal. *Single tone jamming* juga disebut dengan *spot jamming*[4].



Gambar 2. 12 *Single-tone jamming*[4]

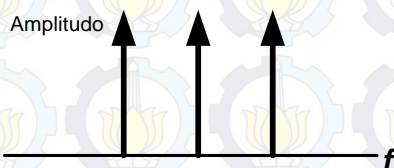
CW *jamming* untuk sistem FHSS tidak berhasil, akan tetapi berhasil diterapkan untuk target yang sangat sempit seperti telegrafi On-Off Keying (OOK) yang tidak mengubah frekuensi. *Single tone jamming* mungkin berguna terhadap sistem AJ DSSS dengan mengatasi pengolahan *gain* dari sistem tersebut pada penerima dan menyebabkan

efek kerusakan pada level *despread*. Ketika daya jammer total tetap, daya lebih dapat ditempatkan dalam satu pola dibandingkan di setiap beberapa pola, sehingga meningkatkan kemungkinan mengatasi pengolahan gain[4].

Ketika ada satu pola ditempatkan di kanal data, sedangkan saluran komplementer hanya memiliki *thermal noise*, maka *jammer* dapat meningkatkan kemampuan penerimaan bit data benar, tergantung pada hubungan fase antara pola interferensi, pola data dan magnitudo relatif dari *tones*.

2.6.2 Multiple Tone Jamming

Pada *tone jamming*, satu atau lebih dari satu *jammer tone* ditempatkan di spektrum. Dimana *jammer* tersebut ditempatkan dan jumlahnya mempengaruhi kinerja *jamming*. *Multiple-tone jamming* mendistribusikan daya *jammer* di antara beberapa pola dan ditunjukkan pada gambar 2.13.

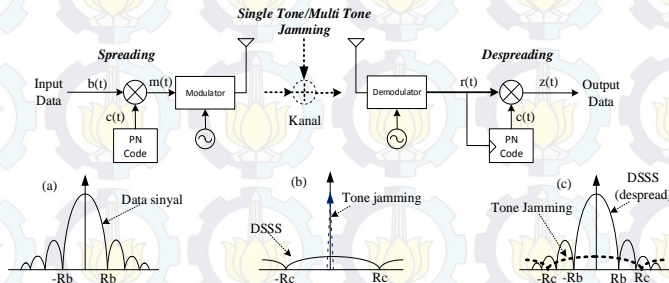


Gambar 2. 13 *Multiple tone jamming*[4]

Jammer akan memancarkan lebih dari satu *tone* yang ditempatkan secara acak atau ditempatkan pada frekuensi tertentu. Jika target khusus sistem komunikasi AJ yang rentan terhadap pola tertentu dan *jammer* mengetahuinya, maka mungkin lebih bijaksana untuk menggunakan pola pada frekuensi tertentu daripada menempatkannya secara acak[4].

Ketika pola dalam kanal berurutan, hal ini disebut *comb jamming*. Disini, tidak mempedulikan strategi pola *jamming* yang sedang dibahas, secara diam-diam diasumsikan bahwa pola ditempatkan tepat pada frekuensi di spektrum sehingga pola *jammer* melewati filter penerima tanpa distorsi atau pelemahan. *Multitone Jamming* diilustrasikan pada gambar 2.13.

Pada gambar 2.14 (a) merupakan sinyal informasi, sinyal informasi yang akan dikirimkan memiliki laju data yang kecil, sistem DSSS dengan PN *sequence* ini akan digunakan sebagai data untuk mengalikan bit informasi dengan *pn-code* yang memiliki laju bit jauh lebih besar daripada sinyal informasi.



Gambar 2. 14 Mekanisme anti *jamming* pada DSSS

Bentuk sinyal yang akan diterima nantinya seperti pada gambar 2.14(c), pada awalnya merupakan sinyal *jamming*, akan tetapi adanya DSSS dari sisi penerima atau disebut *despreading* ini mengakibatkan sinyal akan menjadi seperti semula seperti ditunjukkan pada gambar 2.14(c). Hal paling penting pada kemampuan sistem DSSS menolak interferensi adalah sinyal data dikalikan dua kali oleh PN *sequence*, sedangkan sinyal interferensi / *tone jamming* hanya sekali.

2.7 Software Defined Radio

Software define radio (SDR) merupakan sebuah pemancar atau penerima radio yang menggunakan teknologi yang dapat mengubah parameter jenis modulasi, frekuensi pembawa, daya output atau RF menggunakan *software*.

Software define radio menerapkan perangkat digital yang dapat diprogram sehingga dapat melakukan pemrosesan sinyal yang diperlukan untuk mengirim dan menerima informasi baseband pada frekuensi radio. Perangkat digital yang digunakan seperti *digital signal processor* (DSP) dan *field programmable gate array* (FPGA) membutuhkan sebuah fungsi untuk melakukan pemrosesan data. Teknologi ini memungkinkan fleksibilitas yang tinggi dan penggunaan

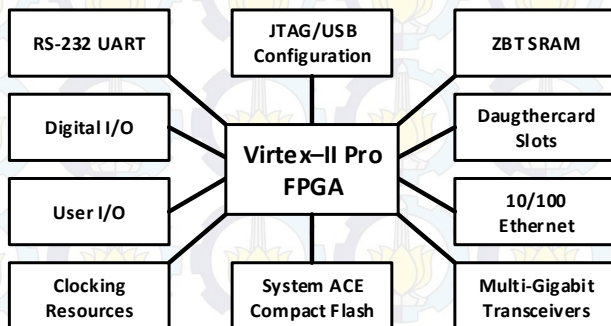
yang lebih lama, karena dapat di *upgrade* dengan biaya yang murah menggunakan *software*.

2.8 Wireless Open Access Research Platform (WARP)

Wireless Open Access Research Platform (WARP) merupakan salah satu perangkat radio yang dapat diprogram untuk membuat *prototype* jaringan *wireless* yang dikembangkan di laboratorium CMC di universitas Rice, Amerika. WARP menggabungkan perangkat dengan kemampuan tinggi yang dapat diprogram dengan *repository open-source*.

2.8.1 Hardware WARP

Komponen utama *hardware* dari WARP adalah *FPGA board*, *radio board* dan *clock board*. *FPGA board* terdiri dari *FPGA chips*, 4Mb *onboard memory* dan memiliki *pheriperal I/O* yaitu *multi gigabit transceiver*, *USB port*, *JTAG header*, *ethernet port*, *daughtercard connectors*, *compact flash slot*. Arsitektur *hardware* WARP dapat dilihat pada gambar 2.15.



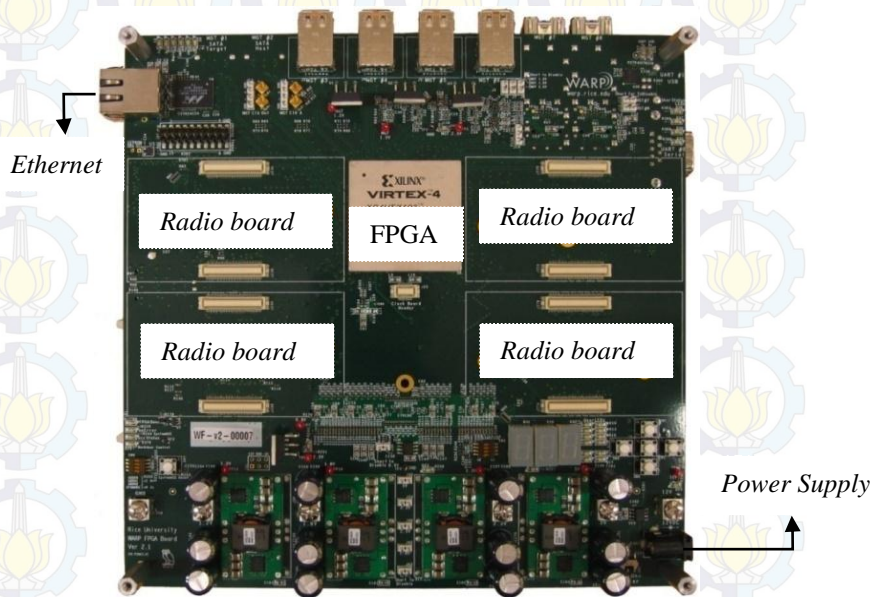
Gambar 2. 15 Arsitektur *hardware* WARP [6]

2.8.1.1 FPGA Board

Dalam *board* ini merupakan inti dari pemrosesan SDR yang dirancang menggunakan *FPGA* Xilinx Virtex-4 XC4VF100FFG1517-11C. WARP *board* mempunyai empat slot *daughtercard* yang dapat dipasang beberapa perangkat pendukung seperti *analog board*, *video board*, *radio board* serta *user I/O board* yang memiliki tampilan LCD. WARP *board* dengan empat *slot daughtercard* ditampilkan pada gambar 2.16.

2.8.1.2 Radio Board

Radio board merupakan interface dari domain digital ke domain analog. *Radio board* pada WARP didesain menggunakan IC Maxim MAX2829, pada proses konversi dari digital ke analog atau sebaliknya, *radio board* menggunakan A/D (Analog to Digital) dan D/A (Digital-to-Analog) converter. *Radio board* juga melakukan proses modulasi dan demodulasi *baseband*. Bentuk fisik dari *radio board* dapat dilihat pada gambar 2.17 dan arsitektur dari *radio board* WARP dapat dilihat pada gambar 2.18.



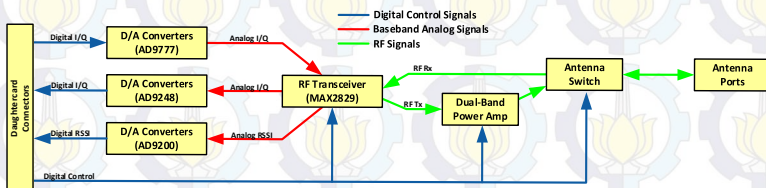
Gambar 2. 16 Modul WARP [8]

2.8.1.3 Clock Board

Clock board mempunyai fungsi sebagai sumber *logic clock* ADC/DAC dan sumber *radio clock* untuk *upconversion/downconversion* pada *radio board*. *Clock board* menghasilkan *logic clock* pada frekuensi 40 MHz dan *radio clock* pada frekuensi 20 MHz. Bentuk fisik dari *clock board* dapat dilihat pada gambar 2. 19, blok *logic clock* pada gambar 2. 20 dan blok *radio clock* pada gambar 2.21 .



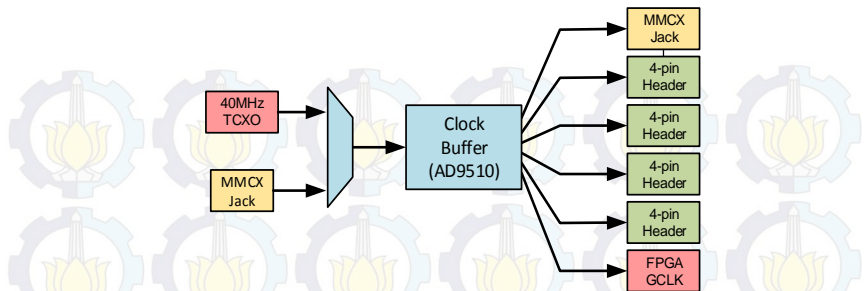
Gambar 2. 17 *Radio Board* [8]



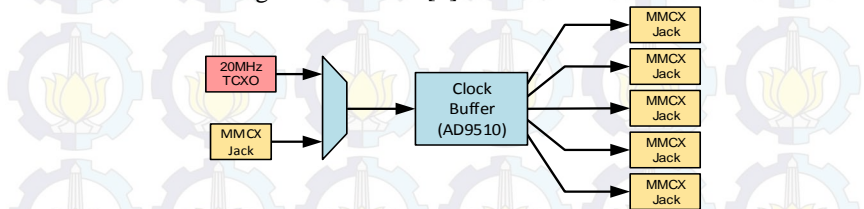
Gambar 2. 18 *Arsitektur radio board* [8]



Gambar 2. 19 *Clock board* [8]



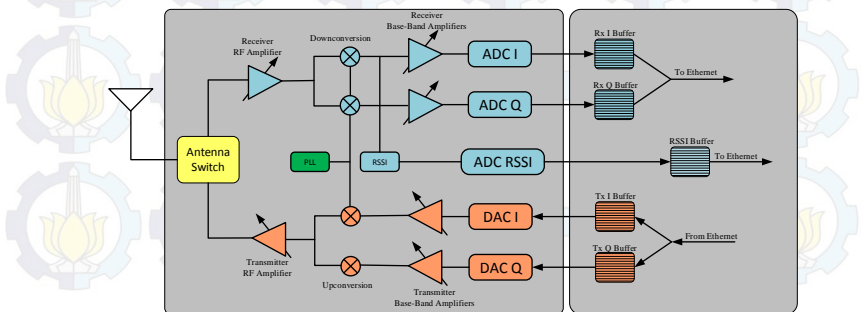
Gambar 2. 20 Logic clock board [7]



Gambar 2. 21 Radio clock board [7]

2.8.2 WARPLab

WARPLab merupakan kerangka kerja yang digunakan untuk *prototype* PHY dengan MATLAB dan *hardware* WARP. Dengan WARPLab dimungkinkan membangkitkan sinyal dari MATLAB secara langsung dan ditransmisikan secara *realtime* melalui kanal udara menggunakan node WARP. Kerangka kerja yang digunakan mempunyai fleksibilitas untuk pengembangan sistem dengan menggunakan banyak *node*. Arsitektur WARPLab ditunjukkan pada gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Arsitektur WARPLab [6]

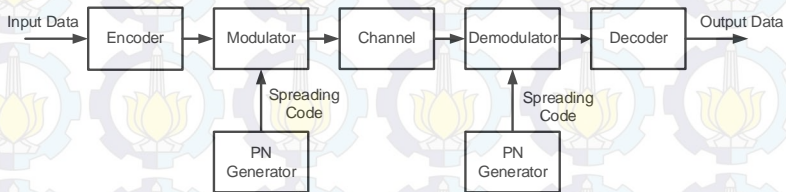


BAB III

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

3.1 Langkah – Langkah Perancangan

Pada bab ini akan dijelaskan tentang pemodelan dari sistem pengiriman dan penerimaan sinyal informasi menggunakan teknik *direct sequence spread spectrum*. Pemodelan sistem menggunakan WARP dan model umum DSSS dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Model umum sistem DSSS[2]

Dalam perancangan sistem *direct sequence spread spectrum* dilakukan 4 proses :

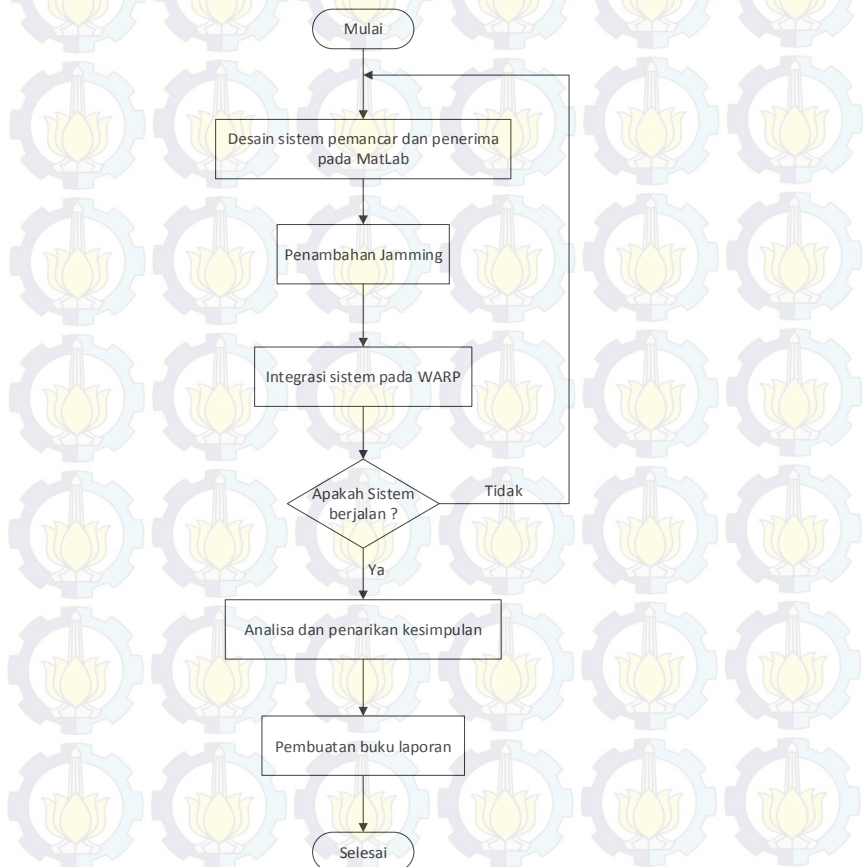
1. Membuat diagram alir sistem DSSS.
2. Membuat sistem DSSS pada setiap blok yang dibutuhkan dalam perancangan sistem DSSS secara nyata.
3. Merancang sistem *modulator* dan *demodulator* dengan kanal real dan penambahan jamming menggunakan MATLAB.
4. Implementasi sistem DSSS pada MATLAB yang terhubung dengan WARP.

3.2 Alur Perancangan Sistem

Pada bagian ini adalah bagian awal dari sistem yang dirancang, perlu dilakukan tahapan seperti perencanaan dan implementasi sistem. Perencanaan dibuat untuk memudahkan pengerjaan dari implementasi yang akan dirancang, sehingga analisa terhadap implementasi dapat dipahami. Untuk itu dalam mempermudah implementasi yang akan dibuat dibutuhkan diagram alir seperti pada gambar 3.2. Untuk mengetahui seberapa besar bit yang dikirim dan bagaimana parameter sistem dari DSSS akan dijelaskan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Desain parameter sistem komunikasi DSSS

Parameter	Keterangan
Bit Informasi	38.400 bit
Modulasi	BPSK
Kanal	<i>Wireless</i>
Lokasi Pengukuran	<i>Indoor</i>
Skema Pengukuran	<i>Single tone dan Multi tone jamming</i>



Gambar 3. 2 Diagram alir perancangan sistem

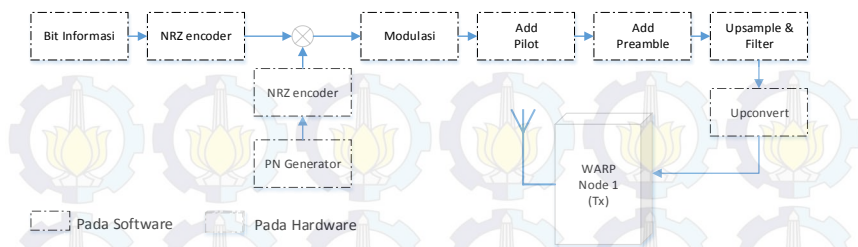
3.3 Perancangan Sistem

Pada perancangan ini akan dibuat sistem modulasi dan demodulasi DSSS menggunakan MATLAB. MATLAB telah dirancang agar terhubung dengan WARP, sehingga dapat mempermudah implementasi yang dilakukan pada kanal yang nyata. Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses ini seperti :

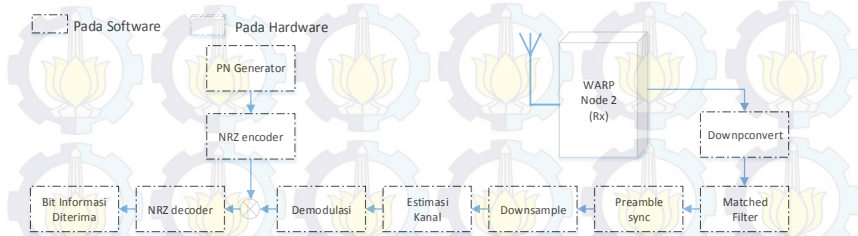
1. Pembuatan encoder , dalam hal ini dilakukan proses pembangkitan bit pada bagian informasi.
2. Spreading, merupakan proses dimana sinyal informasi dikalikan dengan sinyal keluaran PN *sequence* sehingga menghasilkan sinyal baru yang mempunyai *bit rate* lebih besar.
3. Modulasi, pada bagian ini sistem akan melakukan pergeseran frekuensi dengan frekuensi sinyal pembawa.
4. *Jamming*, sistem yang telah ada diberikan gangguan dari luar berupa sinyal yang dibangkitkan pada frekuensi sama atau berdekatan dengan sinyal pembawa, hal ini dilakukan untuk melihat kinerja dari DSSS.
5. *Despreading*, pada bagian ini adalah kebalikan dari *spreading*, dimana sinyal informasi yang diterima akan dikalikan dengan PN *sequence* yang sama pada saat proses pengiriman. Sinyal yang didapat akan sama dengan sinyal informasi yang dikirimkan.
6. Dilakukan perhitungan BER, dimana pada bagian ini ditampilkan variasi daya pengirim pada kanal udara dan variasi daya pada sinyal *jamming*, serta akan ditampilkan berapa banyak bit yang eror dari seluruh bit yang dikirimkan.

3.3.1 Pada Sisi Pengirim dan Penerima

Pada bagian ini menggunakan program MATLAB dengan cara membangkitkan bit yang akan diolah pada sistem DSSS. Input data yang dibangkitkan bersifat acak, sehingga setiap membangkitkan bit akan berubah setiap waktu pembangkitan. Bit yang dibangkitkan berupa bit 0 dan 1, bit yang dikirim inilah yang akan dibandingkan dengan bit yang akan diterima pada sisi penerima. Dalam proses pengiriman ini tidak bisa langsung mengirimkan bit 0 dan 1 karena akan sulit mengalikan bit informasi dengan PN *sequence* pada sistem DSSS ini, oleh karena itu bit 0 dan 1 akan dirubah menjadi level +1 dan -1. Hal ini dilakukan untuk memudahkan perkalian antara bit informasi dengan PN *sequence* yang dibangkitkan.



Gambar 3. 3 Blok desain implementasi sistem *transmitter* DSSS

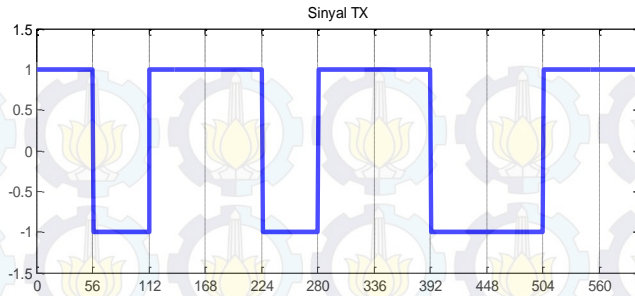


Gambar 3. 4 Blok desain implementasi sistem *receiver* DSSS

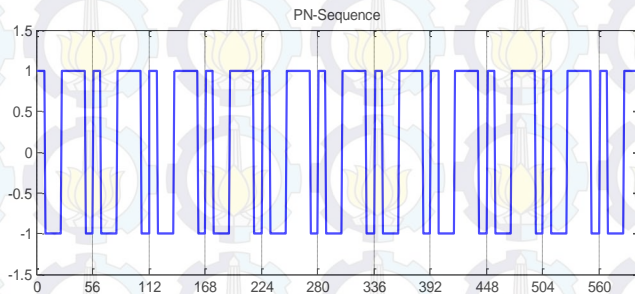
3.3.1.1 NRZ Encoder dan Decoder

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa untuk mempermudah perkalian pada sistem DSSS antara bit informasi dengan PN *sequence* dilakukan pengubahan bit '0' dan '1' menjadi level +1 dan -1 menggunakan NRZ *encoder*. Hal serupa juga digunakan pada bagian PN *sequence* untuk menyamakan menjadi level +1 dan -1, jadi sinyal informasi bisa dikalikan dengan sinyal PN *sequence*. Akan lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.3 dimana pada data informasi setiap pulsa diwakili oleh 56 sampel sedangkan pada PN *sequence* atau kode penyebar setiap pulsa diwakili oleh 8 sampel.

Pada proses decoding dibutuhkan NRZ *decoder* untuk mengubah sinyal +1 dan -1 menjadi bit '0' dan '1'. Pada proses ini menggunakan MATLAB sebagai programnya, sehingga dapat terlihat perbandingan antara bit yang dikirim dengan bit yang diterima.



Gambar 3. 5 Encoder bipolar NRZ bit informasi



Gambar 3. 6 Encoder bipolar NRZ chip

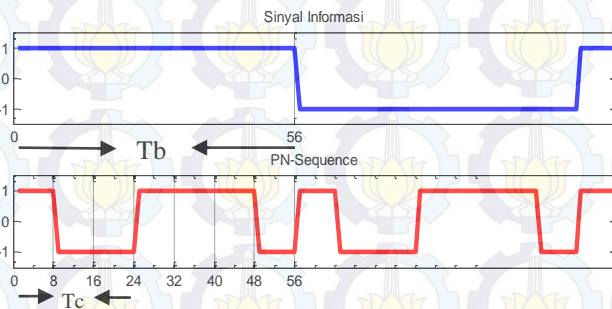
3.3.1.2 Pseudo Noise Generator

Pada PN generator ini membangkitkan bit secara acak, namun keacakannya dapat diperkirakan apabila kita mengetahui kode yang digunakan setiap sequence, oleh karena itu sering disebut dengan PN sequence. PN sequence ini merupakan bagian terpenting dalam DSSS karena dapat menentukan kinerja keseluruhan sistem dan keamanan data yang dikirimkan. Jenis PN sequence yang digunakan berpengaruh terhadap processing gain sehingga berpengaruh juga terhadap lebar bandwidth. Pada perancangan ini digunakan PN generator yang akan menghasilkan kumpulan sekuensi '1' dan '0'. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.2 selanjutnya mengubah bit '1' dan '0' menjadi level '1' dan '-1'. Pada perancangan ini menggunakan initial [-1 -1 1], jumlah stage : 3 , polynomial $x^3 + x^2 + 1$.

Tabel 3. 2 PN-Generator 3 stage

Shift	Konten		
	Stage 1	Stage 2	Stage 3
Initial	-1	-1	1
1	1	-1	-1
2	1	1	-1
3	1	1	1
4	-1	1	1
5	1	-1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1

Dalam *PN-sequence* perlu dibuktikan bahwa mempunyai autokorelasi dengan bit informasi.



Gambar 3. 7 Periode bit vs periode chip.

Pada gambar 3.7 dapat dibuktikan bahwa dalam satu periode bit terdapat tujuh chip, sehingga sistem yang dibuat sudah sesuai dengan syarat persamaan 2.8 dan 2.9. Dari tabel 3.2 didapatkan satu *sequence* = 1 -1 -1 1 1 -1 -1, dapat dijabarkan bahwa korelasi periodik sinyal PN – *sequence* adalah sebagai berikut :

... 1 -1 -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 1 -1...

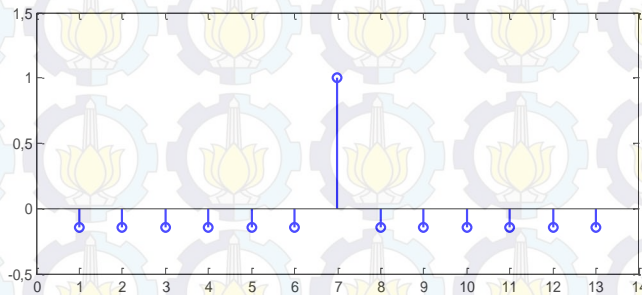
$$c(0) = 1 -1 -1 1 1 1 -1 \quad \rightarrow \quad \Sigma +1$$

Dari persamaan 2.10 dapat dihasilkan sebagai berikut :

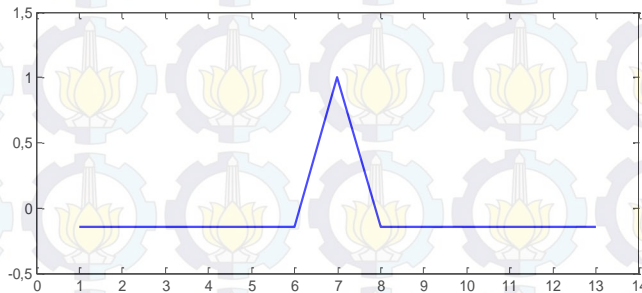
$$\begin{array}{cccccccc} c(0) & = & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 \\ c(0) & = & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 \\ \hline & & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \end{array} = \sum = 7 = Rc(\tau = 0)$$

$$\begin{array}{cccccccc} c(0) & = & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 \\ c(1) & = & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 & +1 \\ \hline & & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \end{array} = \sum = -1 = Rc(\tau = 1)$$

Sehingga akan dihasilkan autokorelasi seperti ditunjukkan gambar 3.8 dan 3.9.



Gambar 3. 8 Fungsi Autokorelasi diskrit

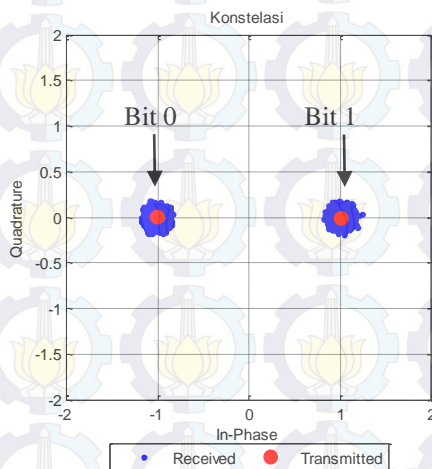


Gambar 3. 9 Fungsi Autokorelasi

3.3.1.3 Blok Modulasi dan Demodulasi

Blok modulasi dilakukan sebelum bit informasi dikirimkan melalui suatu kanal. Modulasi yang digunakan pada perancangan ini adalah BPSK

(*Binary Phase Shift Keying*). Digunakan modulasi BPSK karena mendukung suatu informasi memiliki *bandwidth* yang lebar dan modulasi ini sering digunakan pada DSSS. Modulasi BPSK menghasilkan nilai fasa yang berbeda 180° antara bit '0' dan bit '1'. Lalu keluaran dari modulasi dikalikan dengan sinyal *cosines* untuk melakukan penggeseran frekuensi kerja sistem. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.10.

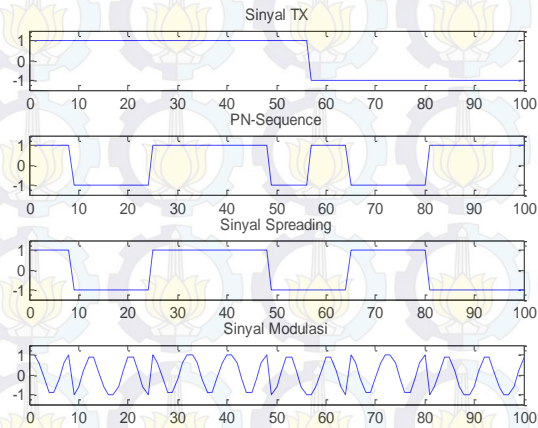


Gambar 3. 10 Diagram konstelasi BPSK

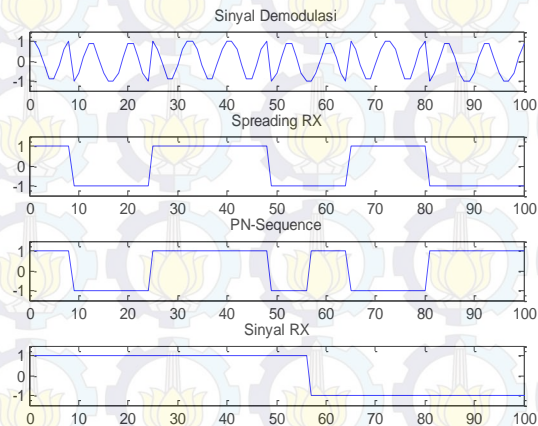
Dari gambar 3.11 sinyal informasi yang awalnya bernilai bit '0' dan '1' diubah menjadi level '-1' dan '+1' oleh NRZ *encoder*. Pada PN *sequence* juga mengalami hal yang sama yaitu dengan NRZ *encoder*. Dapat kita lihat sinyal informasi memiliki laju bit yang jauh lebih kecil daripada PN *sequence*, lalu sinyal hasil perkalian antara sinyal informasi tx dengan PN *sequence* akan menghasilkan sinyal *spreading*. Pada bagian pengirim hasil *spreading* akan dimodulasi oleh modulator BPSK, sehingga pada bagian ini sinyal akan dikirim melalui kanal nirkabel.

Pada bagian penerima sinyal yang diterima akan di demodulasi, sehingga menghasilkan sinyal *despreading*, sinyal hasil *despreading* itu dikalikan dengan PN *sequence* yang mempunyai nilai sama dengan pengirim. Sinyal yang telah dikalikan tersebut menjadi sinyal yang diterima. Sinyal

inilah yang akan dibandingkan, sehingga menghasilkan *bit error rate* yang nantinya akan ditampilkan dalam grafik.



Gambar 3. 11 Sinyal hasil modulasi BPSK



Gambar 3. 12 Sinyal hasil demodulasi BPSK

3.3.1.4 Pilot untuk estimasi kanal

Untuk memperoleh symbol estimasi pada penerima, digunakan respon impulse kanal *wireless*. Estimasi repon impuls kanal dapat diperoleh dari *pilot sequence* yang disisipkan secara periodik pada pemancar. Sistem komunikasi DSSS ini digunakan simbol dengan nilai 1. Satu symbol *pilot* disisipkan untuk mengestimasi n symbol informasi. Desain penyusunan pilot dapat dilihat pada gambar 3.13.

P_0	$S_0 - S_3$	P_1	$S_4 - S_7$...	P_i	$S_{n-3} - S_n$
-------	-------------	-------	-------------	-----	-------	-----------------

Gambar 3. 13 Susunan *pilot* dan symbol

3.3.1.5 Preamble untuk Timing Synchronization

Untuk mengetahui letak dari deretan symbol informasi pertama kali dibagian penerima maka dibutuhkan deretan symbol yang telah diketahui disisi pengirim, deretan symbol tersebut disebut *preamble*. Deretan symbol yang digunakan pada implementasi sistem terdiri dari 19 simbol ditunjukkan pada persamaan 3.1.

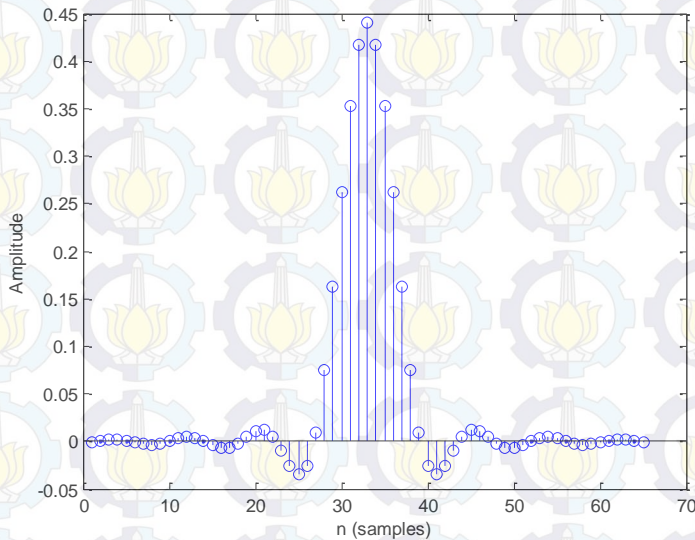
$$\begin{aligned} \text{preamble} : [0;0;0;0;-1+1i;-1-1i;-1+1i;-1+1i;-1+1i;-1-1i;-1+1i \\ ;0;0;0;0;0;0;0] \end{aligned} \quad (3.1)$$

3.3.1.6 Pulse Shaping Filter dan Matched Filter

Mengirim sinyal pada frekuensi yang tinggi melalui kanal *bandlimited* dapat menimbulkan *inter symbol interferensi* (ISI). Ketika menaikkan tingkat modulasi maka hal yang terjadi ialah *bandwidth* sinyal juga meningkat, dan ketika *bandwidth* sinyal lebih besar dari *bandwidth* kanal hal ini dapat mendistorsi kanal. Distorsi inilah yang disebut dengan *inter symbol interferensi* (ISI). Salah satu teknik yang digunakan untuk mengantisipasi hal ini adalah dengan filter *pulse shaping*. Beberapa contoh filter *pulse shaping* antara lain, *sinc shaped filter*, *gaussian filter* dan *raised cosine filter*. Dalam perancangan ini digunakan filter *raised cosine* karena lebih praktis dalam penggunaan. Filter *raised cosine* pada pengirim dikombinasikan dengan *matched-filter* disisi penerima untuk mencapai toleransi optimal terhadap *noise* pada sistem ini. Parameter desain filter *pulse shaping* dengan filter *raised-cosine* dan *matched filter* ditunjukkan pada tabel 3.3 dan pada gambar 3.14.

Tabel 3. 3 Parameter desain *raised cosine filter* dan *matched filter*

Parameter	Nilai	Keterangan
Nsamp	8	Sample/symbol
Filt_order	64	Filter Order
Roll_off	0,9	Rolloff factor filter



Gambar 3. 14 Respon impulse filter *square-root raised-cosine*

3.3.1.7 Upconvert dan Downconvert

Upconvert pada perancangan ini dilakukan pada sinyal *baseband* dengan cara menggeser frekuensi dari 0 ke 7 MHz yang mempunyai tujuan untuk menghindari redaman DC pada radio. Sinyal yang dilewatkan filter *raised-cosine* akan dilewatkan *upconvert* dengan cara setiap sample sinyal akan dikalikan dengan persamaan 3.2.

$$Tup(t) = Sss(t) \times \exp(\sqrt{-1} \times 2\pi f_c t) \quad (3.2)$$

Dimana :

f_c : frekuensi carrier

t : waktu sampling

Spesifikasi frekuensi *sampling* pada WARP adalah 40 MHz. Pada downconvert sinyal yang diterima dilakukan dengan mengalikan masing-masing sample dengan persamaan 3.3.

$$Rdown(t) = Sss(t) \times \exp(-\sqrt{-1} \times 2\pi f_c t) \quad (3.3)$$

Dimana :

f_c : frekuensi carrier

t : waktu sampling

3.3.2 Pada Kanal

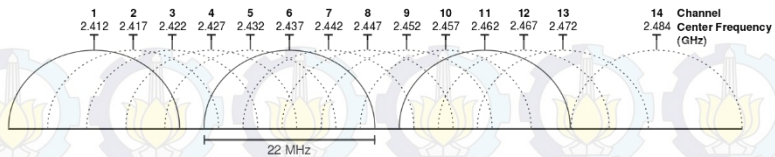
Kanal yang digunakan dalam perancangan *direct sequence spread spectrum* ini adalah kanal yang real, artinya dalam metode ini menggunakan kanal udara yang sesungguhnya. Hal ini dilakukan sebagai pendekatan sistem komunikasi sesungguhnya, sehingga kita dapat menganalisa dan dapat menentukan parameter dalam perancangan ini.

3.3.2.1 Kanal Nirkabel

Dapat dilihat pada gambar 3.15 bahwa pada perancangan ini menggunakan kanal nirkabel pada jarak enam meter yang mempunyai pendekatan dengan sistem komunikasi yang real. Pembagian kanal pada sistem ini menggunakan IEEE 802.11g, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3. 15 Kondisi kanal *nirkabel* diruangan *indoor*

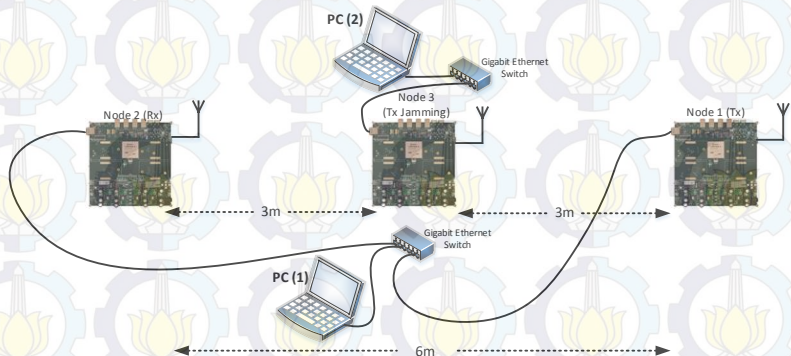


Gambar 3. 16 Range frekuensi IEEE 802.11g

Pada pengukuran digunakan kanal 8 karena pada kanal tersebut terhindar dari interferensi yang ada pada ruangan B.304.

3.3.2.2 Jamming

Dalam merancang *jamming* ini digunakan PC(2) yang dipasang antara sistem pengirim dan penerima. Jenis *jamming* yang digunakan untuk mengganggu sinyal informasi adalah *single tone jamming* dan *multi tone jamming*. Perancangan dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Perancangan DSSS dengan *jamming*

3.4 Implementasi Sistem

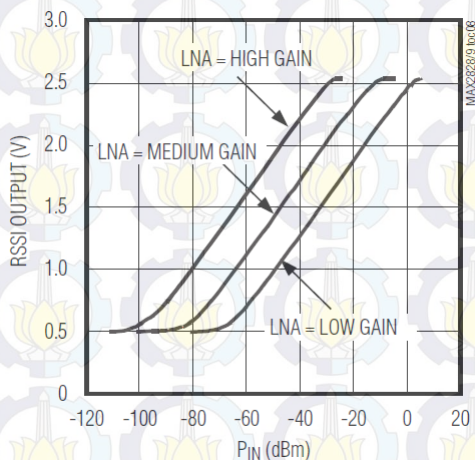
3.4.1 Karakteristik Radio Board WARP versi 1.4

Modul WARP mempunyai karakteristik khusus yaitu dapat digunakan sebagai modul *transceiver* pada proses komunikasi. Modul radio board ini didesain khusus oleh universitas Rice dengan versi 1.4 [8]. Bentuk dari radio board dapat dilihat pada gambar 2.17. Cara kerja dari modul radio board ini akan lebih jelas dijabarkan pada gambar 2.18.

Pada saat radio board bekerja sebagai *transmitter* maka sinyal digital pada modul WARP akan diubah menjadi sinyal analog oleh AD9777 kemudian dipancarkan menggunakan MAX2829. Di penerima akan terdapat dua sinyal yang diproses oleh WARP, yaitu sinyal informasi I/Q dan sinyal RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*).

3.4.1.1 RSSI

Pada RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) ini dapat diketahui level tegangan tertentu pada penerima. Nilai level tegangan ini dapat kita ketahui berdasarkan informasi dari datasheet. Pada gambar 3.18 akan terlihat karakteristik sinyal analog RSSI pertama dihasilkan oleh MAX2829.



Gambar 3. 18 Grafik RSSI vs Daya Input MAX2829 [6]

Dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan gambar 3.18 bahwa daya input yang terukur oleh *receiver* akan diubah menjadi tegangan pada range 0.5 – 2.5 Volt. Berdasarkan diagram blok pada gambar 2.18, sinyal analog akan diubah menjadi sinyal digital melalui *A/D converters* (AD9200). Sinyal digital RSSI bekerja dengan frekuensi sampling 10 MHz. Dapat dilihat pada gambar 3.18 fungsi linier antara output RSSI dan daya input dalam dBm bisa diturunkan sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Nilai daya input terhadap RSSI pada LNA low gain

P_{in}	-60 dBm	-40 dBm	-20 dBm	0 dBm
RSSI	0.6 V	1.25 V	1.8 V	2.4 V

Persamaan antara P_{in} terhadap RSSI adalah sebagai berikut :

$$RSSI = 0.03 P_{in} + 2.4 \quad (3.4)$$

Persamaan linier didapat dari titik -60 dBm dan 0 dBm sebagai titik awal dan akhir persamaan. Apabila diketahui nilai RSSI dalam tegangan maka nilai P_{in} adalah sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{RSSI - 2.4}{0.03} \quad (3.5)$$

Nilai untuk konfigurasi gain LNA medium pada persamaan 3.6 dan LNA high pada persamaan 3.7 adalah sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{RSSI - 2.8833}{0.0292} \quad (3.6)$$

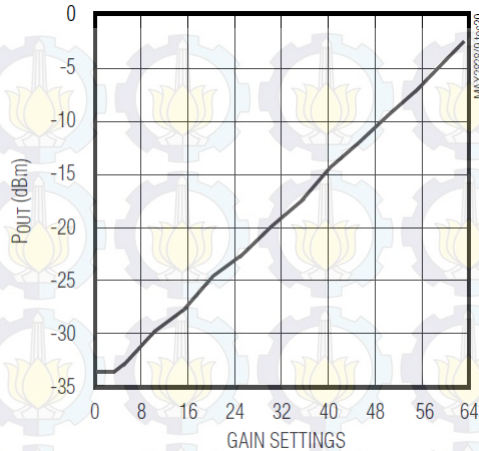
$$P_{in} = \frac{RSSI - 3.8833}{0.0283} \quad (3.7)$$

Nilai diatas akan linier pada range P_{in} tertentu, sehingga dapat kita bagi menjadi daya terima optimum untuk pengukuran range -60 dBm sampai -10 dBm adalah untuk LNA *low gain*, range -70 dBm sampai -20 dBm adalah untuk LNA *medium gain*, sedangkan LNA *high gain* pada range -90 dBm sampai -40 dBm. Nilai inilah yang akan digunakan untuk mengkonversi data RSSI menjadi daya input pada WARP.

3.4.1.2 Gain setting

Pengaturan gain pada WARPLab ini tergantung dari konfigurasi radio board. Secara umum , dapat dijelaskan sebagai berikut :

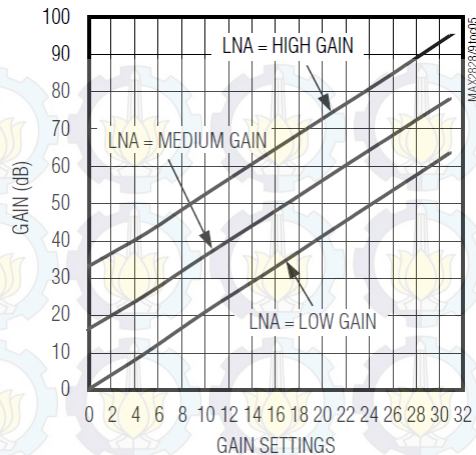
a) *Transmitter radio frequency gain*



Gambar 3. 19 Tx Output Power vs Gain Setting MAX2829 [6]

Berdasarkan referensi [5], karakteristik *baseband gain* adalah sebagai berikut :

- Nilai *gain* linier pada range 4 sampai 63.
- b) *Transmitter baseband gain*
Untuk *baseband gain*, mempunyai 3 level pengaturan melalui WARPLab [6].
- c) *Receiver baseband gain*
Pada *gain* ini terdapat 32 level pengaturan. Berdasar referensi [5], grafik penguatan *baseband* dapat dilihat pada gambar 3.20.
- d) *Receiver radio frequency gain*
Pada bagian ini *node WARP* memiliki 3 level LNA yaitu *low gain*, *medium gain* dan *high gain*. Besar penguatan juga berdasarkan gambar 3.18. Besar dari penguatan LNA yaitu 0 dB untuk *low gain*, 15 dB untuk *medium gain* dan 30 dB untuk *high gain*.

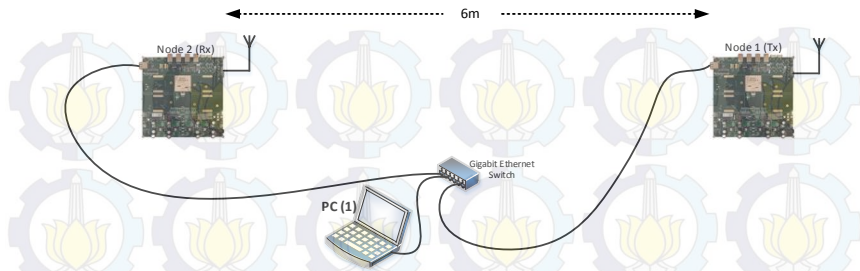


Gambar 3. 20 Rx Voltage Gain vs Baseband Gain Setting MAX2829[6]

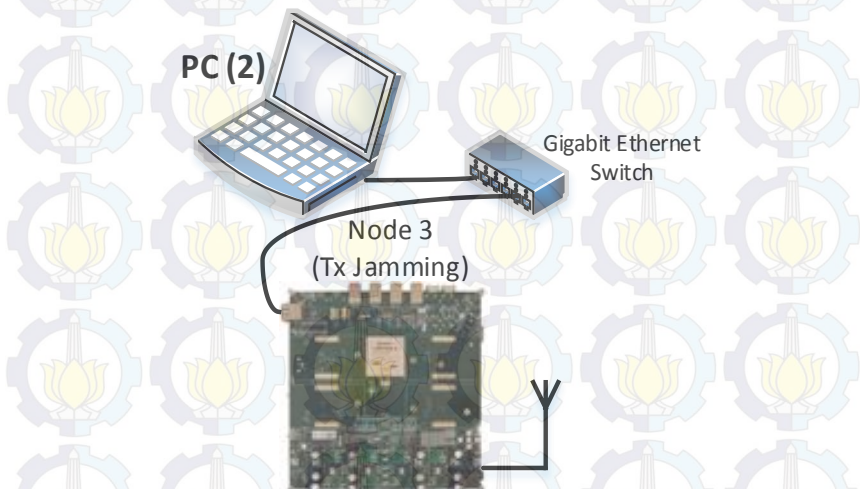
3.4.2 Integrasi PC dengan modul WARP

Pada bagian akan digambarkan integrasi PC dengan WARP menggunakan switch Ethernet seperti pada gambar 3.21. Perancangan ini menggunakan WARPLab, yang merupakan *frame work* yang mampu mengintegrasikan modul WARP dengan program MATLAB secara langsung. Dengan modul WARPLab, pembangkitan sinyal pada MATLAB dapat dikirim secara *real-time* melalui *node* WARP sebagai pemancar dan penerima. Pada pengujian ini menggunakan dua, PC (1) yang digunakan sebagai pemancar dan penerima sedangkan PC (2) sebagai pemancar jamming secara *continue*. Adapun langkah-langkah untuk mengintegrasikan PC dengan modul WARP versi 2 sebagai berikut :

- Menghubungkan PC (1) dengan modul WARP menggunakan switch ethernet yang digunakan sebagai pemancar dan penerima seperti pada gambar 3.21.
- Menghubungkan PC (2) dengan modul WARP menggunakan switch Ethernet yang digunakan sebagai pemancar *jamming continue* seperti pada gambar 3.22.
- Mengatur IP pada PC (1) menjadi 10.0.0.114 dapat dilihat pada gambar 3.23.

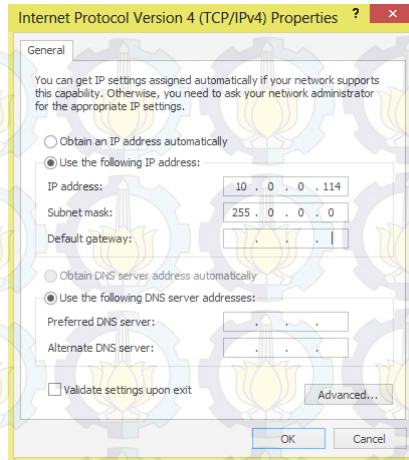


Gambar 3. 21 Skema *node* pengirim dan *node* penerima

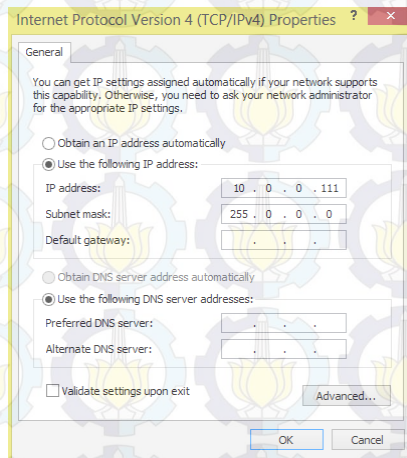


Gambar 3. 22 *Node* sinyal jamming

- Mengatur IP pada PC (2) menjadi 10.0.0.111 dapat dilihat pada gambar 3.24.
- Mengatur *routing* ARP pada *command prompt administrator* dengan cara menuliskan `arp -s 10.0.0.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff` lalu `arp-a` untuk melihat IP yang terdaftar.



Gambar 3. 23 Pengaturan IP pada PC (1)



Gambar 3. 24 Pengaturan IP pada PC (2)

- Mengatur IP pada modul WARP dengan 001 pada *node* pertama dan 002 pada *node* kedua yang digunakan sebagai pemancar dan penerima.

- Mengatur IP pada modul WARP dengan 001 yang digunakan sebagai pemancar *jamming continue*.
- Untuk mengintegrasikan WARPLab 7 ke modul WARP kita masuk pada MATLAB dan melakukan *command* : *wl_setup*
- Untuk memeriksa koneksi PC (1) dan WARP maka kita gunakan *command* : *wl_initNode(2)*. Apabila terlihat seperti gambar 3.25 maka koneksi kita berhasil.

```

Setup Complete
wl_ver():
WARPLab v7.1.0
>> wl_initNodes(2)

ans =

Displaying properties of 2 wl_node objects:
| ID | WLVER | HWVER | Serial # | Ethernet MAC Addr | Address |
-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-00 | 10.0.0.1 |
| 1 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-01 | 10.0.0.2 |

```

Gambar 3. 25 Indikator terkoneksi antara PC (1) dengan WARP

- Untuk memeriksa koneksi PC (2) dan WARP maka kita gunakan *command* : *wl_initNode(1)*. Apabila terlihat seperti gambar 3.26 maka koneksi kita berhasil.

```

>> wl_initNodes(1)

ans =

Displaying properties of 1 wl_node objects:
| ID | WLVER | HWVER | Serial # | Ethernet MAC Addr | Address |
-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-00 | 10.0.0.1 |

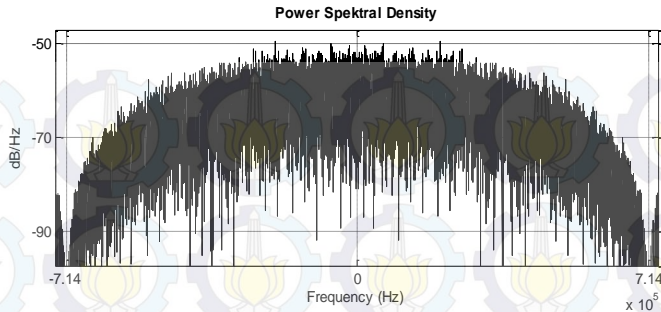
```

Gambar 3. 26 Indikator terkoneksi antara PC (2) dengan WARP

3.4.3 Sistem komunikasi DSSS

Sebelum masuk kedalam sistem DSSS akan ditampilkan bagaimana sinyal informasi yang mempunyai laju data yang jauh lebih kecil dari pada sinyal pada waktu dilakukan pengiriman. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.27.

Pada laju bit informasi gambar 3.27 memiliki laju bit $7,14 \times 10^5$ bps dimana laju bit informasi ini akan dikirimkan pada laju bit informasi yang jauh lebih besar.



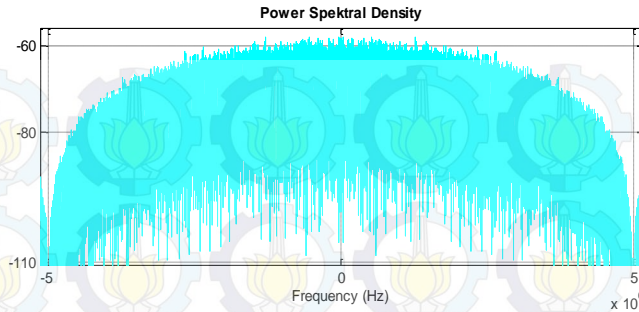
Gambar 3. 27 Bandwidth bit informasi

Laju bit transmisi atau biasa disebut dengan *chip rate* (laju chip), harus memiliki laju yang jauh lebih besar dari informasi, dalam percobaan dilakukan pengiriman pada laju chip 5 Mbps. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.28 . Untuk dapat melihat perbandingan antara sinyal informasi dengan sinyal chip sebagai penebar data informasi dapat dilihat pada gambar 3.29.

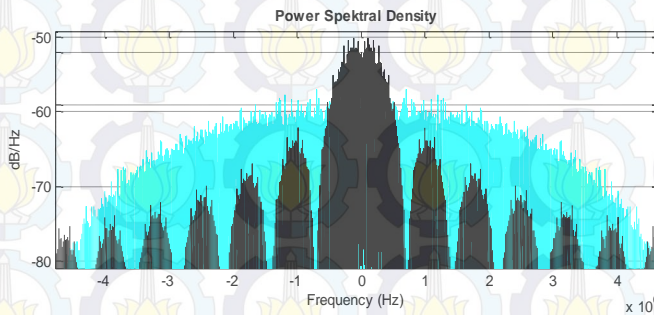
Pada gambar 3.29 merupakan pembuktian dari laju bit informasi yang akan dikirimkan , ditebar dengan chip yang mempunyai laju jauh lebih besar dari pada laju informasi. Pada gambar 3.29 ditampilkan *power spectral density* dari bit informasi dan bit penebar yaitu chip. Bit penebar akan membutuhkan *bandwidth* yang besar tetapi tidak membutuhkan daya yang besar untuk mengirimkan data.

Pada bagian ini akan disajikan *bandwidth* yang akan digunakan dalam sistem DSSS. *Bandwidth baseband* yang digunakan adalah 5 MHz, dan akan ditransmisikan pada kanal *passband* dengan *bandwidth* 10 MHz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.30 dan 3.31.

Sinyal yang akan dikirim nantinya harus merepresentasikan sinyal keseluruhan, artinya sinyal yang real dan imajiner dalam hal ini harus dikirimkan secara bersamaan. Untuk itu perlu dilakukan *upconvert* supaya sinyal secara utuh dapat dikirimkan. Dalam perancangan ini menggunakan frekuensi *upconvert* 7 MHz, hal ini didasari oleh laju *nyquist* dimana frekuensi sampling (*upconvert*) harus lebih besar atau sama dengan dua kali frekuensi informasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.32 merupakan representasi dari laju *nyquist*.



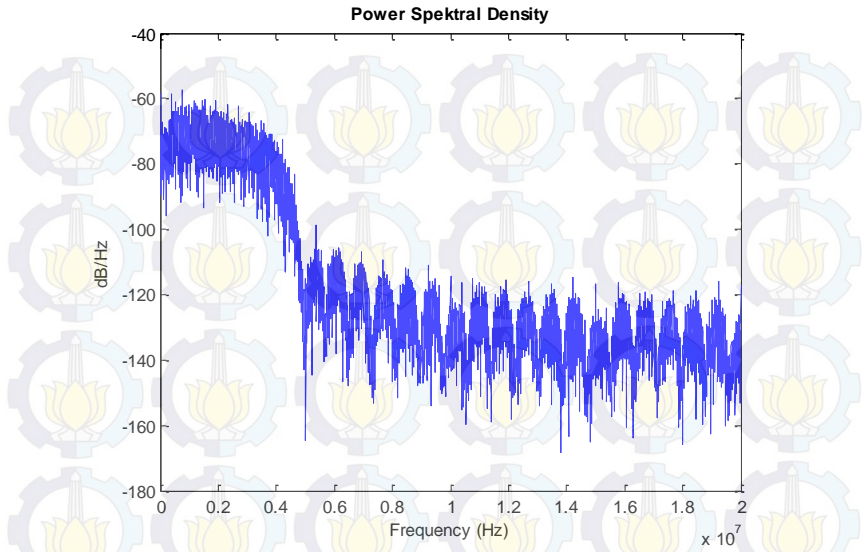
Gambar 3. 28 *Bandwidth chip*



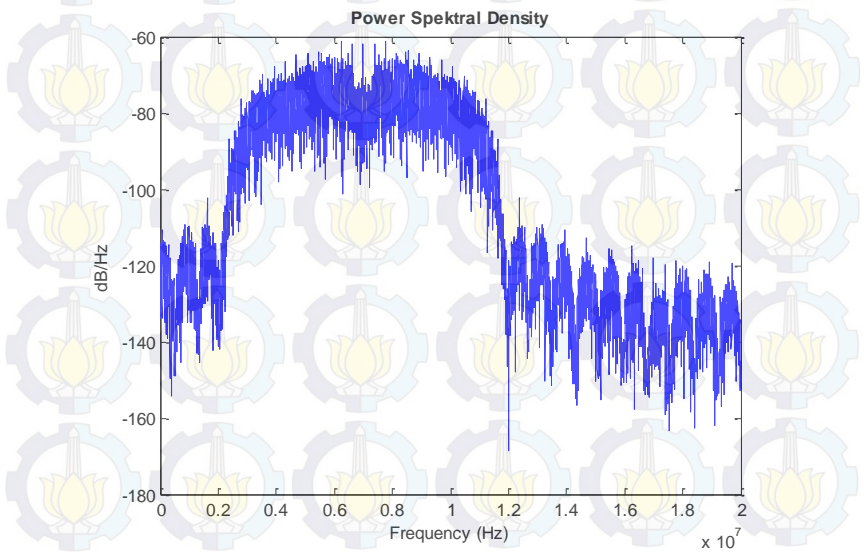
Gambar 3. 29 *Bandwidth bit informasi vs bit chip*

Pada gambar 3.32 akan lebih jelas bagaimana penggambaran dari sinyal *baseband* ke sinyal *passband*. Tidak berhenti sampai disini, sinyal yang berada pada frekuensi tengah 7 MHz ini nantinya akan dikirimkan pada frekuensi yang lebih tinggi yaitu pada frekuensi 2,4 GHz. Hal ini dilakukan karena kita menggunakan *radio board* MAX2828/2829 yang dapat bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 5 GHz. Pada pengujian ini menggunakan MAX 2829 yaitu pada frekuensi 2,4 GHz sampai 2,5 GHz.

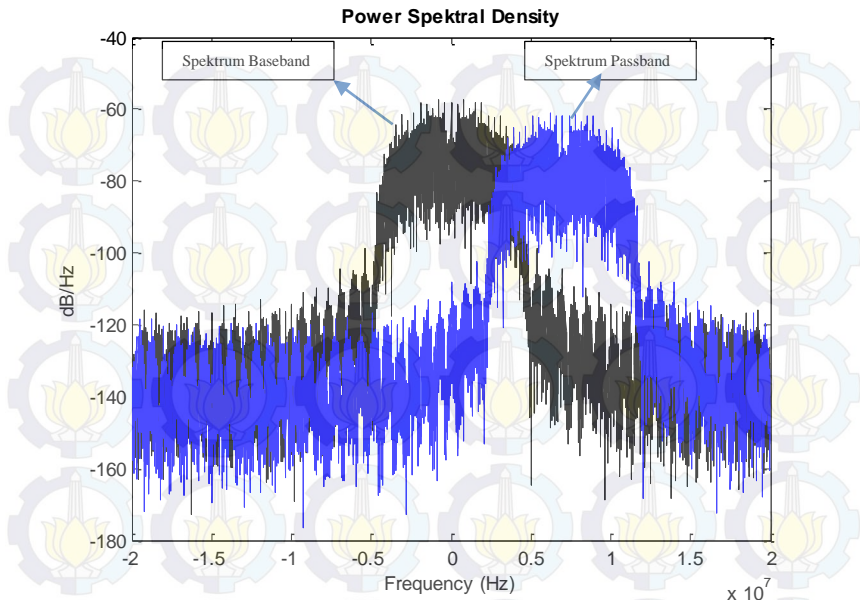
Setelah sinyal dikirimkan sinyal tersebut akan diganggu oleh sinyal *jamming* yang akan dirancang sebagaimana berada pada frekuensi kerja sistem. Berikut akan ditampilkan model *jamming* yang akan diteliti. Pada gambar .. kita dapat melihat *single tone jamming* pada perancangan yang ditampilkan dalam bentuk *power spectral density*.



Gambar 3. 30 Power Spektral Density *baseband*



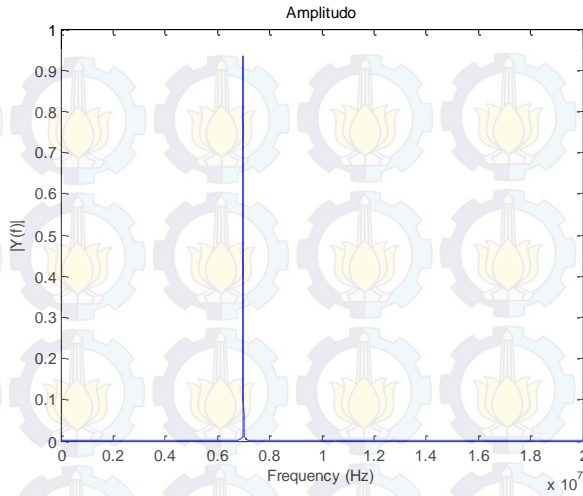
Gambar 3. 31 *Upconvert 7 MHz*



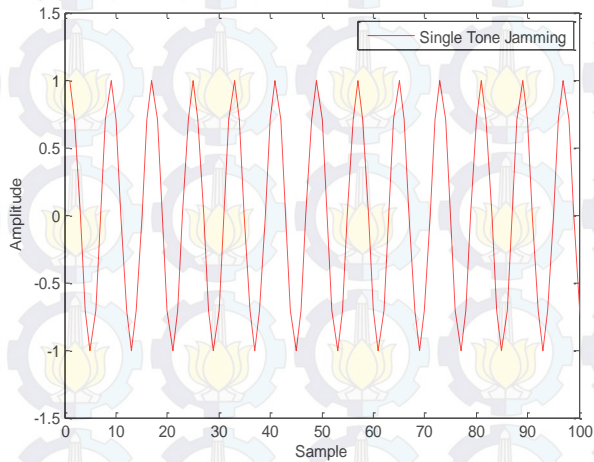
Gambar 3. 32 Spektrum *baseband* dan *passband*

Pada gambar 3.33 ditampilkan jamming yang berada pada frekuensi kerja 7 Mhz, dimana sinyal *jamming* ini akan dikirimkan secara kontinyu pada saat sinyal informasi dikirimkan. Sinyal *jamming* ini nantinya juga akan dinaikkan pada frekuensi 2,4 GHz pada kanal yang sama dengan sistem, hal ini dilakukan supaya kita dapat mengetahui kinerja dari sistem DSSS. Pada gambar 3.34 kita dapat melihat sinyal dalam domain waktu.

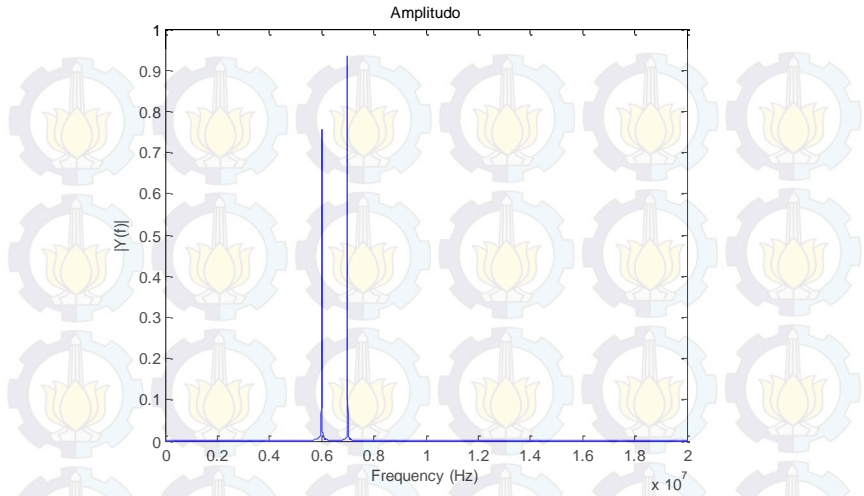
Pada langkah selanjutnya adalah sinyal informasi yang akan diberi gangguan *multi tone jamming*. Pada bagian ini sebenarnya hampir sama dengan *single tone jamming* namun pada *jamming multi* ini sinyal yang di kirimkan sebagai pengganggu lebih dari satu sinyal. Dalam perancangan ini menggunakan dua sinyal pengganggu yang dikirimkan pada satu modul WARP. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.35 dan 3.36.



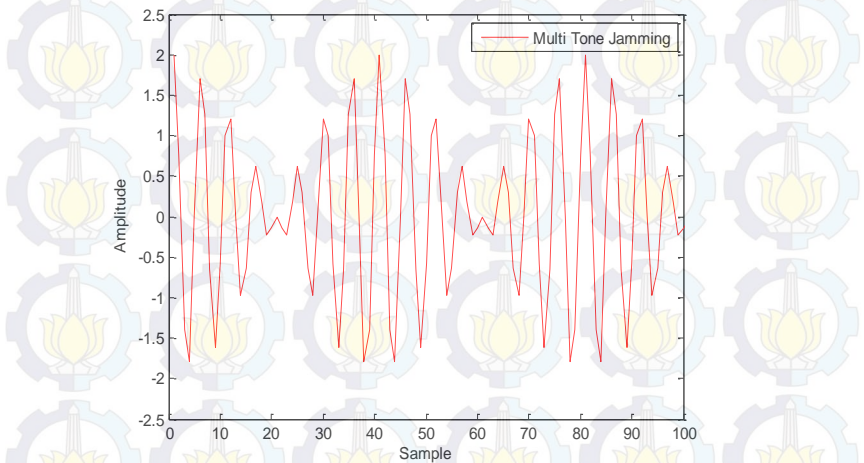
Gambar 3. 33 *Single tone jamming* pada frekuensi 7 Mhz



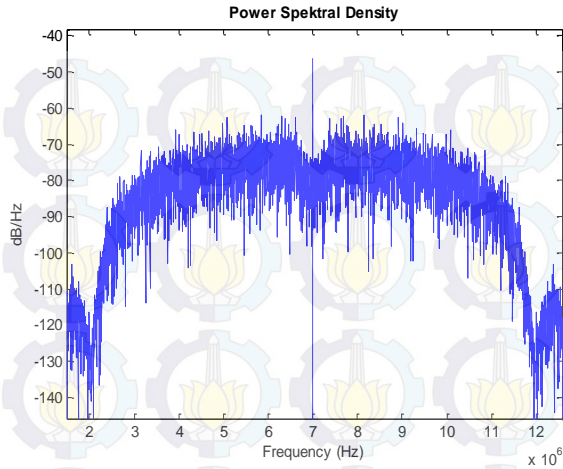
Gambar 3. 34 *Single tone jamming* dalam domain waktu



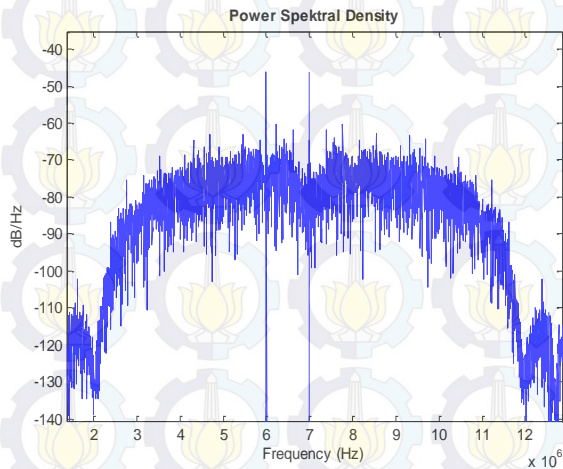
Gambar 3. 35 *Multi tone jamming pada frekuensi 7 Mhz dan 8 Mhz*



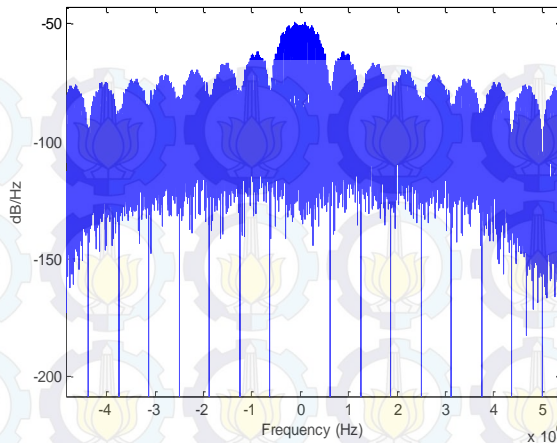
Gambar 3. 36 *Multi tone jamming dalam domain waktu*



Gambar 3. 37 *Single tone jamming* pada frekuensi kerja sistem



Gambar 3. 38 *Multi tone jamming* pada frekuensi kerja dan dibawah frekuensi kerja sistem



Gambar 3. 39 Spektrum sinyal diterima

Pada bagian ini dapat dilihat pada gambar 3.39 bahwa sinyal tersebut merupakan hasil perkalian antara sinyal $r(t)$ dengan sinyal $c(t)$ yang merupakan replika *pseudo noise sequence* dari pengirim. Dengan filter pada *bandwidth* yang diinginkan dalam hal ini adalah *low pass filter* maka sinyal akan kembali seperti semula seperti saat dikirimkan.

BAB IV

PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM

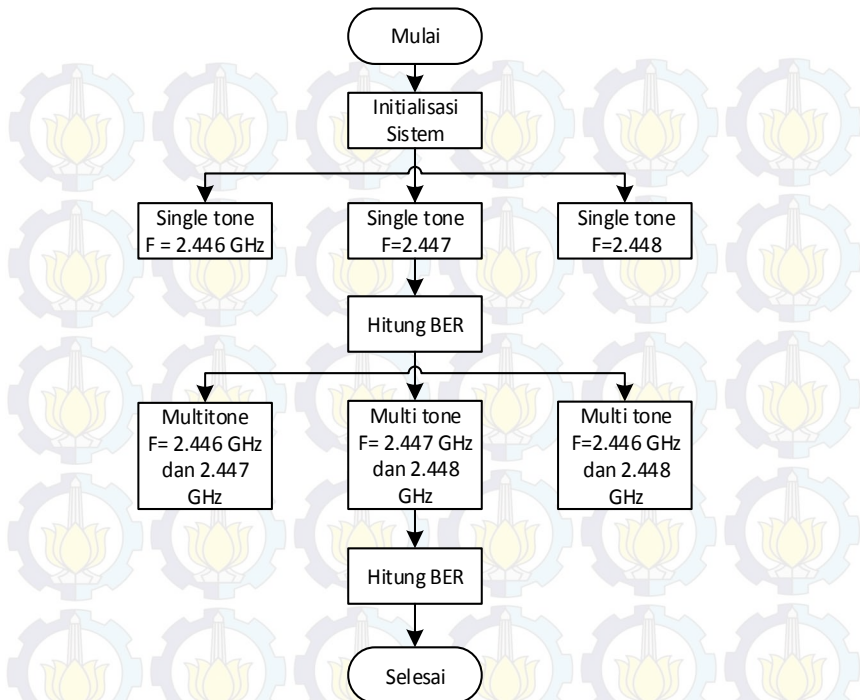
Pada bab ini akan dibahas tentang hasil dari pengukuran dan analisa dari implementasi modulasi dan demodulasi *direct sequence spread spectrum* yang telah dijelaskan pada Bab III. Hasil dari pengukuran kinerja dari sistem ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik BER vs Daya *noise*. Dalam proses analisis data pengukuran ini akan dibagi menjadi tiga bagian , antara lain :

1. Analisis kinerja dari *modulator* dan *demodulator* BPSK.
2. Analisis kinerja sistem komunikasi BPSK dan DSSS.
3. Analisis kinerja Implementasi DSSS dengan gangguan dari *single tone jamming* dan *multi tone jamming*.

Pada perancangan ketiga model tersebut menggunakan kanal nirkabel secara real yang berada pada ruangan *indoor*.

4.1 Skenario Pengujian

Pada bagian ini akan dilakukan skenario metode pengukuran dari sistem yang telah dibuat. Kinerja yang akan dilihat adalah menguji parameter *bit error rate* (BER) terhadap variasi *noise* dengan cara mengubah nilai dari *power transmit* dalam dBm dan mengubah frekuensi kerja dari *jamming* serta variasi daya sinyal *jamming* tersebut. Pada pengukuran ini perlu kita atur *power transmit* pada nilai berapa sehingga didapat nilai BER paling sedikit. Untuk mendapatkan nilai BER akan dibandingkan antara sinyal yang dikirim dengan sinyal yang diterima. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.1 merupakan diagram alur pengukuran kinerja sistem yang mempunyai frekuensi *carrier* 2,4 GHz. Dalam pengukuran ini menggunakan *radio board* yang mempunyai spesifikasi perangkat menurut standar yang telah dijelaskan pada gambar 3.16 yaitu menggunakan kanal 8 dengan frekuensi *carrier* 2.447 GHz.



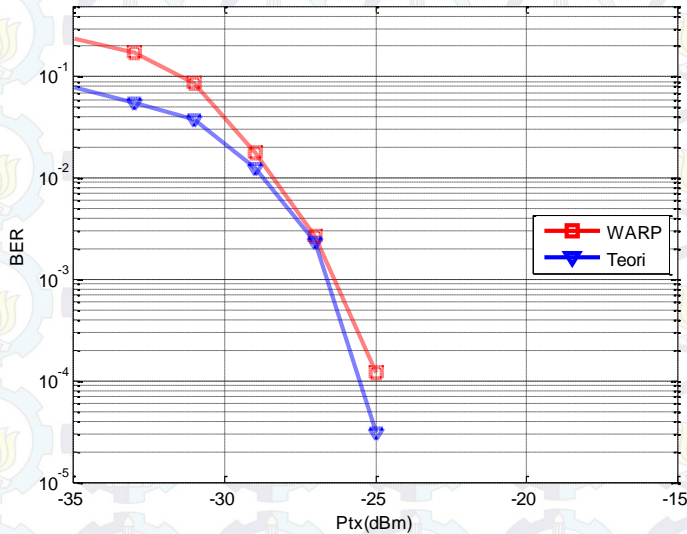
Gambar 4. 1 Diagram alir pengukuran sistem

4.2 Analisis kinerja modulator dan demodulator BPSK

Pada pengukuran sistem ini digunakan modulasi BPSK untuk proses pengiriman dan penerimaan. Unjuk kerja sistem akan ditampilkan dalam *bit error rate* (BER) yang diketahui dengan membandingkan antara bit yang dikirim dan diterima. Untuk memudahkan pengerjaan digunakan *software* MATLAB dalam menghitung nilai dari BER. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.3.

Pada gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa nilai dari BER yang digambarkan antara teori dan implementasi langsung pada WARP tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini menjadi dasar bahwa sistem yang dibuat telah mempunyai parameter yang mendekati nilai dari teori, sehingga sistem yang dibuat dengan *software* MATLAB dan WARPLab

versi 7 sudah benar. Untuk lebih jelasnya nilai dari BER dapat dilihat pada tabel 4.1.



Gambar 4. 2 Grafik BER WARP BPSK vs teori BPSK

Jika terjadi perbedaan hal yang paling mendasar adalah adanya pengaruh fungsi jarak antara *node* 1 dan *node* 2 pada saat implementasi pada WARP. Pada pengukuran simulasi menggunakan kanal AWGN tidak dipertimbangkan jarak, sehingga tidak diketahui BER pada jarak tertentu.

Tabel 4. 1 Perbandingan nilai BER BPSK pada WARP dan Teori

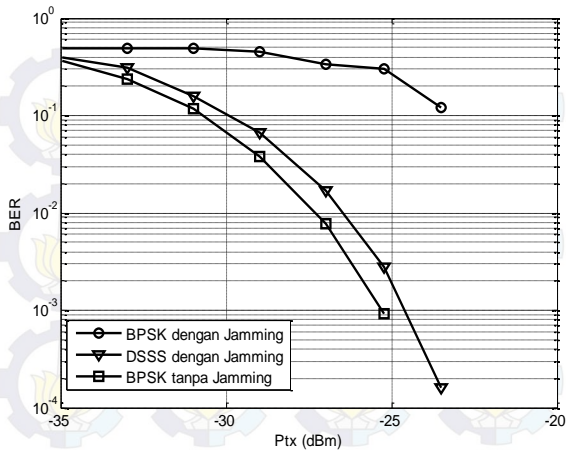
Ptx (dBm)	WARP	TEORI
-35	0.365302083	0.078243
-33	0.235	0.056014
-31	0.116973958	0.037502
-29	0.037739583	0.012365
-27	0.007645833	0.002363
-25	0.000919792	3.05E-05

4.3 Analisis kinerja BPSK (tanpa PN *sequence*) dan DSSS (dengan PN *sequence*)

Pada bagian perlu dilakukan untuk dapat mengetahui bagaimana pengaruh PN *sequence* pada sistem yang dirancang, apakah berpengaruh atau tidak apabila sistem tersebut diberi gangguan *jamming*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.2, bagaimana pengaruh dari penyebaran spektrum yang lebih lebar dalam sistem *direct sequence spread spectrum* yang telah disajikan dalam nilai *bit error rate* (BER) terhadap perubahan nilai dari *power transmit* (P_{tx}) antara sistem yang menggunakan PN *sequence*, *direct sequence spread spectrum* (DSSS) dengan sistem tanpa menggunakan PN *sequence*, *binary phase shift keying* (BPSK) yang dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4. 2 Hasil pengukuran BER tanpa PN *sequence* dan dengan PN *sequence*

P _{tx} (dBm)	BER		
	BPSK	DSSS	BPSK tanpa jamming
-35	0.49624814	0.394886068	0.365302083
-33	0.496073289	0.306393229	0.235
-31	0.490245536	0.156819661	0.116973958
-29	0.449730283	0.066103516	0.037739583
-27	0.340524554	0.017093099	0.007645833
-25,25	0.301888021	0.002792969	0.000919792
-23,5	0.119466146	0.000159505	0
-21,25	0	0	0



Gambar 4. 3 BER dengan PN *sequence* dan tanpa PN *sequence*

Dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwa nilai BER yang dihasilkan oleh sistem dengan PN *sequence* lebih kecil atau lebih baik jika dibandingkan dengan sistem tanpa PN *sequence* apabila sinyal informasi yang dikirimkan terkena pengaruh dari sinyal *jamming*. Dari tabel 4.2 dan gambar 4.3 dapat diketahui bahwa penambahan PN *sequence* berakibat pada memperkecil nilai kesalahan pada sistem yaitu sekitar 72,27 %. Hal ini disebabkan oleh PN *sequence* yang ditebar memiliki laju bit yang jauh lebih besar dari laju informasi, sehingga mempunyai *bandwidth* yang lebar pada saat dikirimkan.

4.4 Analisis kinerja sistem DSSS dengan *jamming*

Pengukuran menggunakan *node* WARP bertujuan sebagai pendekatan sistem komunikasi DSSS secara real. Perancangan yang telah dibuat pada bab 3 akan diukur menggunakan *node* WARP dimana *node* (1) berada pada jarak 6 meter dari *node* (2) dan ditengah akan diletakkan *node* WARP sebagai *jamming*. Dalam pengukuran ini sistem akan di*jamming* dengan *single tone jamming* dan *multi tone jamming* pada nilai *power transmit* -25 dBm dan -20 dBm.

Penentuan nilai *power transmit* dilakukan karena tidak terfokus pada perubahan *power transmit* pada sisi pengirim. Pemilihan *power transmit*

diambil dari hasil pengukuran sistem, dapat dilihat pada tabel 4.3 menggunakan nilai *power transmit* terendah yaitu -20 dBm dan -25 dBm untuk dapat mengetahui pengaruh sinyal yang terkena *jamming*. Dengan demikian dapat terlihat bagaimana respon sistem yang ditampilkan pada nilai BER yang dihasilkan.

Pada pengukuran ini digunakan kanal 8 , hal ini didasari pada tempat dimana dilakukan pengukuran, laboratorium komunikasi multimedia B.304 terdapat kanal wireless yang dapat menimbulkan interferensi.

4.4.1 Pengukuran sistem DSSS dengan *single tone jamming*

Pada pengukuran ini kita akan menganalisa bagaimana perubahan nilai BER apabila pada suatu sistem komunikasi DSSS ini diberi gangguan sinyal *single tone jamming*. Sinyal *single tone jamming* dibuat *continuous* artinya bahwa sinyal pengganggu ini dipancarkan secara terus menerus. Setelah diganggu maka kita akan mengetahui berapa bit yang akan diterima disisi penerima.

Didalam memberi gangguan sinyal *jamming* ini akan dibedakan berdasar perubahan frekuensi dan perubahan daya sinyal *jamming*. Pengukuran ini akan mengirim 38.400 bit dimana kita akan mengetahui nilai BER setelah kita hitung perbandingan antara sinyal yang dikirim dan diterima. Pengukuran dilakukan dengan iterasi sebanyak 30 kali, ini artinya bahwa sistem akan diukur pada parameter yang sama sebanyak 30 kali, hal ini dilakukan karena kanal yang terjadi dapat berbeda suatu waktu.

Frekuensi kerja dari sinyal *jamming* dalam pengukuran kali ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu tepat pada frekuensi kerja sistem, berada dibawah frekuensi kerja sistem dan terakhir berada diatas frekuensi kerja sistem. Pemilihan ketiga frekuensi dari sinyal *jamming* tersebut digunakan untuk melihat respon sistem DSSS.

Dapat terlihat pada tabel 4.3 bagaimana pengaruh daya sinyal *jamming* yang direpresentasikan dalam BER terhadap perubahan nilai dari daya *jamming*. Dapat dilihat pada gambar 4.5 semakin besar nilai daya sinyal *jamming* berakibat pada nilai BER yang semakin besar pula. Hal ini dapat kita simpulkan bahwa besarnya daya sinyal *jamming* berbanding lurus dengan jumlah bit yang salah.

Pengukuran akan dibedakan menjadi tiga bagian :

- a. Frekuensi sinyal *jamming* pada frekuensi kerja sistem 2,447 GHz

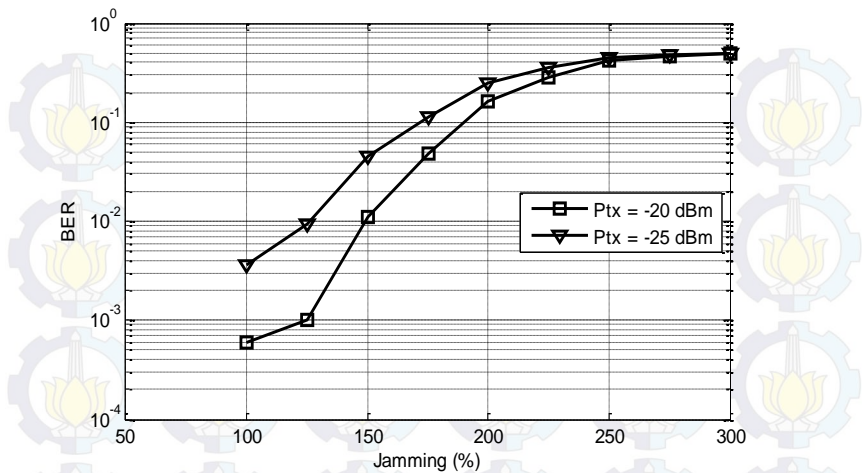
Tabel 4. 3 Data pengukuran pada saat frekuensi *jamming* 2,447 GHz

Jamming (%)	Ptx (dBm)	
	-20	-25
300	0.4876	0.4934
275	0.4565	0.4762
250	0.4166	0.4515
225	0.2834	0.355
200	0.1636	0.2494
175	0.0479	0.1132
150	0.0111	0.0453
125	0.001	0.0095
100	0.0006	0.0036
50	0	0
0	0	0

Pada data hasil pengukuran gambar 4.4 digunakan dua kondisi dimana nilai dari Ptx -25 dBm dan -20 dBm. Terlihat pada grafik bahwa adanya perbedaan daya sinyal *jamming* sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem DSSS. Frekuensi kerja sinyal *jamming* ini berada tepat di frekuensi pembawa dari sinyal informasi.

- b. Frekuensi sinyal *jamming* diatas frekuensi kerja sistem yaitu 2,448 GHz.

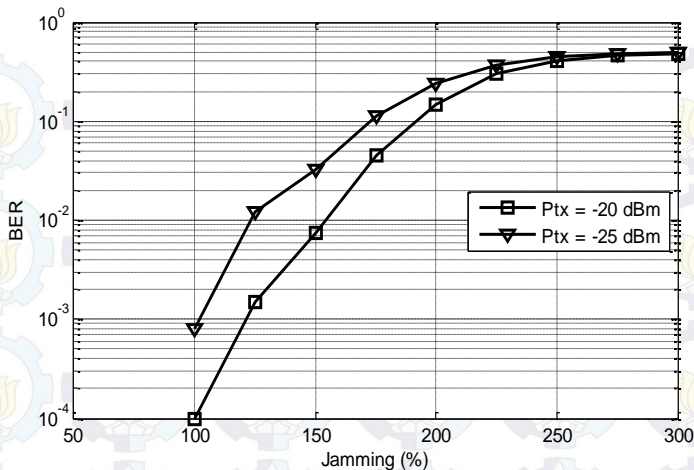
Setelah kita *jamming* pada frekuensi tepat dimana sistem tersebut bekerja, sekarang akan kita amati gambar 4.5 apabila diberi *jamming* dengan frekuensi kerja diatas frekuensi kerja sistem DSSS. Selain perbedaan daya sinyal *jamming* , ternyata nilai dari *power transmit* (Ptx) juga mempunyai pengaruh yang besar. Semakin besar Ptx menyebabkan nilai BER juga semakin kecil, sebaliknya semakin kecil nilai Ptx maka nilai BER semakin besar.



Gambar 4. 4 Grafik BER vs Daya *single tone jamming* pada frekuensi kerja 2.447 GHz

Tabel 4. 4 Data pengukuran pada saat frekuensi *jamming* 2,448 GHz

Jamming (%)	Ptx (dBm)	
	-20	-25
300	0.4764	0.48810
275	0.4644	0.48020
250	0.4032	0.44330
225	0.3041	0.37180
200	0.1486	0.23860
175	0.0446	0.11350
150	0.0074	0.03270
125	0.0015	0.01230
100	0.0001	0.00080
50	0	0
0	0	0



Gambar 4. 5 Grafik BER vs Daya *single tone jamming* pada frekuensi kerja 2,448 GHz

Setelah kita melakukan pengukuran pada sistem yang diberi *jamming* tepat pada frekuensi sistem dan berada diatas frekuensi sistem maka selanjutnya akan dilakukan pengukuran yang di*jamming* dibawah frekuensi sistem.

- c. Frekuensi sinyal *jamming* dibawah frekuensi kerja sistem yaitu 2,446 GHz

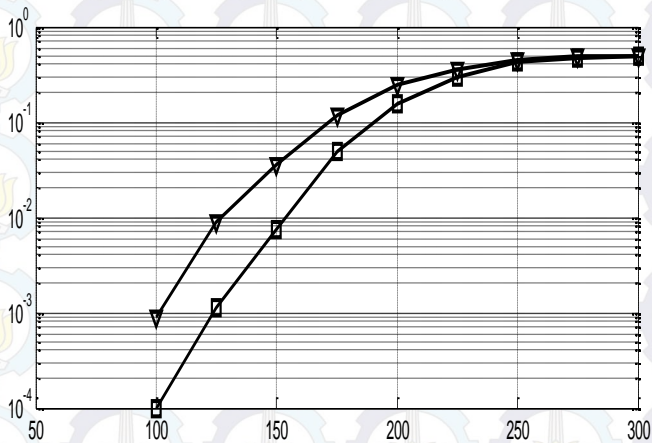
Pada gambar 4.6 terlihat bahwa nilai dari grafik mempunyai nilai yang hampir sama jika dibandingkan dengan sinyal yang diberi *jamming* pada frekuensi diatas frekuensi kerja sistem. Ketika daya sinyal *jamming* semakin besar berakibat pada nilai BER yang semakin besar.

Perbandingan nilai BER vs daya sinyal *jamming* ini perlu dibandingkan supaya perbedaan dapat terlihat, akan terlihat perbedaan pada gambar 4.8. Perbedaan antara sistem yang diberi *jamming* pada ketiga kondisi tersebut tidak mengalami perbedaan yang cukup signifikan, sehingga dapat terlihat pada gambar ketika sistem diber gangguan *jamming* 100 %, sistem masih dapat bekerja seperti kita ambil salah satu data pada saat diberi *jamming* berada tepat pada frekuensi kerja sistem pada saat Ptx = -25 dBm

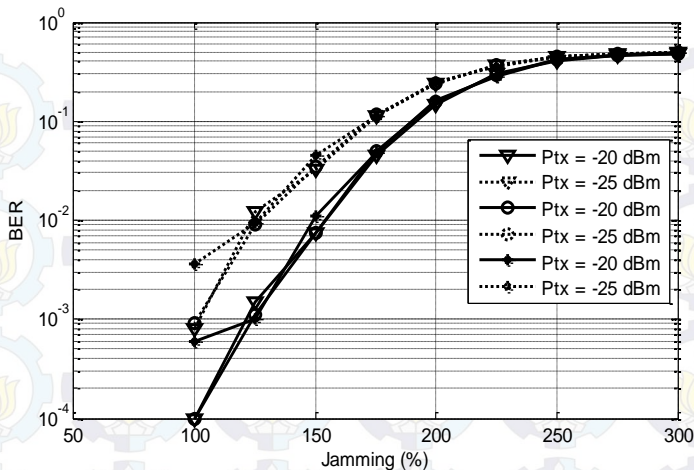
sistem masih mencapai nilai BER = 10^{-3} dan pada saat Ptx = -20 dBm sistem masih mencapai BER = 10^{-4} .

Tabel 4. 5 Data pengukuran pada saat frekuensi jamming 2,446 GHz

Jamming (%)	Ptx (dBm)	
	-20	-25
300	0.4812	0.48980
275	0.469	0.4831
250	0.4228	0.453
225	0.2919	0.3623
200	0.1552	0.2425
175	0.0499	0.1176
150	0.0075	0.0348
125	0.0011	0.0091
100	0.0001	0.0009
50	0	0
0	0	0



Gambar 4. 6 Grafik BER vs Daya single tone jamming pada frekuensi kerja 2,446 GHz



Gambar 4. 7 Grafik BER vs Daya *single tone jamming* pada tiga kondisi

Pada gambar 4.7 terlihat bagaimana perbedaan yang terjadi antar setiap *jamming*. Dari ketiga pengukuran tersebut dapat kita ambil kesimpulan bahwa semakin besar nilai dari daya *jamming* maka akan semakin besar pula *bit error rate* (BER) yang dihasilkan. Semakin tinggi *power transmit* (Ptx) maka akan menghasilkan *bit error rate* (BER) yang lebih kecil. Pada grafik terlihat bahwa perubahan frekuensi pada sinyal *single tone jamming*

4.4.2 Pengukuran sistem DSSS dengan *multi tone jamming*

Pada pengukuran ini sistem akan diganggu dengan sinyal *multi tone jamming*, artinya sinyal akan diganggu oleh dua sinyal *jamming* yang bekerja pada frekuensi berbeda. Sama halnya dengan sistem DSSS yang diganggu oleh sinyal *single tone jamming*, tetapi pada setiap pengukuran sinyal informasi akan diberi gangguan dalam tiga *jamming* yaitu pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,448 GHz , 2,447 GHz dan 2,446 GHz serta 2,446 GHz dan 2,448 GHz.

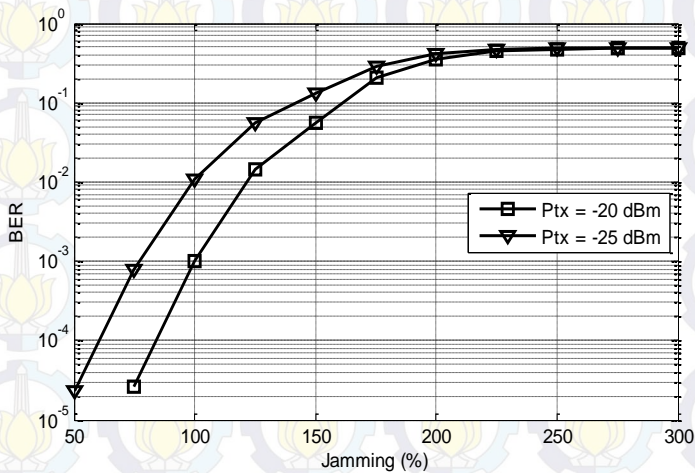
Pada pengukuran ini akan dibedakan menjadi :

- Frekuensi sinyal *jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,448 GHz.

Pada pengukuran ini bertujuan mengetahui bagaimana kinerja suatu sistem apabila diberi *jamming* oleh dua frekuensi sekaligus. Hasil dari pengukuran ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 4.8.

Tabel 4. 6 Data pengukuran pada saat frekuensi *jamming* 2,447 GHz dan 2,448 GHz

Jamming (%)	Ptx (dBm)	
	-20	-25
300	0.49638	0.497419
275	0.494036	0.497568
250	0.476328	0.485299
225	0.449219	0.470892
200	0.358698	0.410573
175	0.206875	0.285439
150	0.05612	0.133366
125	0.014635	0.055723
100	9.90E-04	0.010703
50	2.60E-05	7.85E-04
0	0	2.28E-05



Gambar 4. 8 Grafik BER vs Daya sinyal *jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,448 GHz

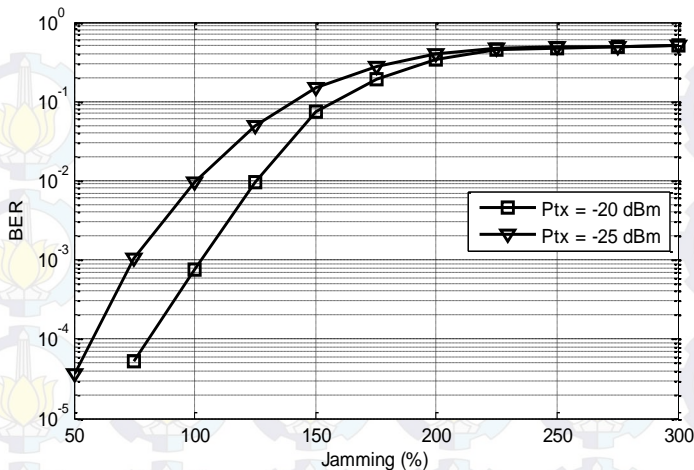
Pada gambar 4.8 terlihat bahwa terdapat pengaruh penggunaan sinyal *jamming* yang menggunakan dua frekuensi sekaligus. Perbedaan dapat terlihat pada nilai BER yang lebih besar jika dibandingkan dengan sinyal yang diberi gangguan *single tone jamming*. Nilai yang ditampilkan diambil ketika $P_{tx} = -25$ dBm dan $P_{tx} = -20$ dBm tetap dan menggunakan perubahan nilai dari daya sinyal *jamming*.

b. Frekuensi sinyal *jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,446 GHz

Pada pengukuran kali ini digunakan dua frekuensi kerja sinyal *jamming* yang bekerja pada frekuensi sistem dan dibawah frekuensi sistem. Masih sama seperti pengukuran yang dilakukan sebelumnya, dilakukan saat kondisi $P_{tx} = -25$ dBm dan $P_{tx} = -20$ dBm dengan mengacu pada perubahan daya sinyal *jamming*. Grafik pengukuran untuk lebih jelasnya akan ditampilkan pada gambar 4.9.

Tabel 4. 7 Data pengukuran pada saat frekuensi *jamming* 2,447 GHz dan 2,446 GHz

Jamming (%)	Ptx (dBm)	
	-20	-25
300	0.4992448	0.4991764
275	0.4952865	0.4972266
250	0.4646094	0.4812663
225	0.4517708	0.4726204
200	0.3432292	0.3999349
175	0.1895052	0.2740299
150	0.0747917	0.1511556
125	0.0095573	0.0495801
100	7.55E-04	9.62E-03
50	5.21E-05	0.0010384
0	0	3.58E-05



Gambar 4. 9 Grafik BER vs Daya sinyal *jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,446

Dapat terlihat pada gambar 4.9 bahwa semakin besar daya *jamming* maka akan berpengaruh terhadap nilai BER yang semakin semakin besar pula, semakin besar *power transmit* (Ptx) maka semakin kecil BER yang didapat.

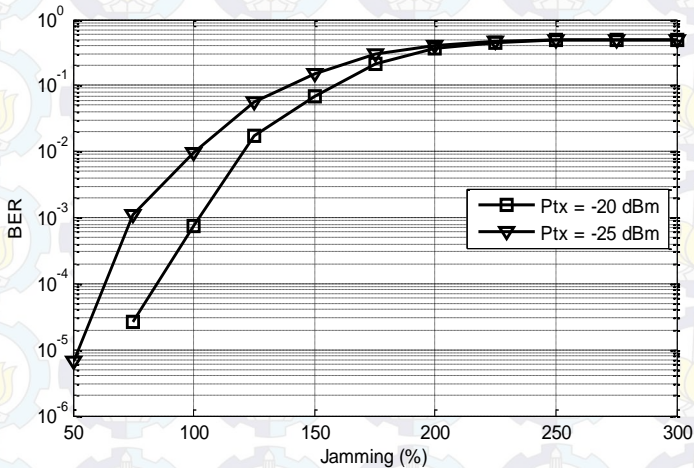
c. Frekuensi sinyal *jamming* pada frekuensi 2,446 GHz dan 2,448 GHz

Pada pengukuran ini menggunakan sinyal *jamming* yang berada diatas frekuensi kerja sistem dan dibawah frekuensi kerja sistem. Unjuk kerja dari sistem akan ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.10.

Dari gambar 4.10 dapat kita lihat grafik hasil pengukuran mempunyai karakteristik yang hampir sama, yaitu semakin besar nilai daya *jamming* maka akan semakin besar pula nilai dari *bit error rate* (BER). Parameter yang lain ialah semakin besar *power transmit* yang diberikan pada suatu sistem akan menyebabkan nilai dari *bit error rate* menjadi semakin kecil.

Tabel 4. 8 Data pengukuran pada saat frekuensi *jamming* 2,446 GHz dan 2,448 GHz

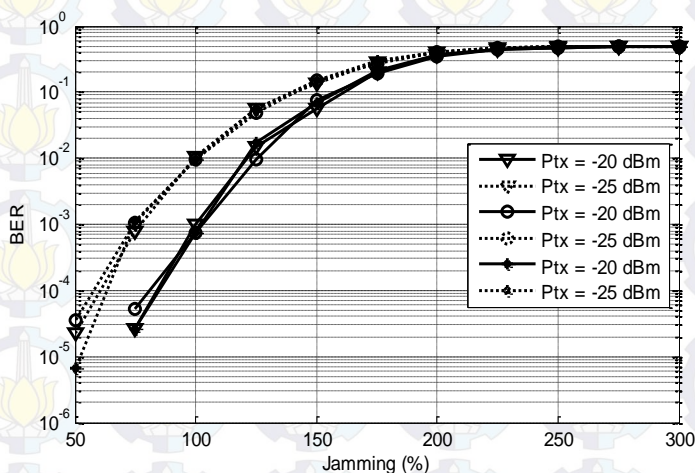
Jamming (%)	Ptx (dBm)	
	-20	-25
300	0.4996354	0.4988639
275	0.4988281	0.4989323
250	0.485599	0.4918164
225	0.4451823	0.4688477
200	0.3638542	0.4125651
175	0.2148177	0.2943359
150	0.0696875	0.1474219
125	0.0174219	0.0564941
100	7.55E-04	0.0097624
50	2.60E-05	1.10E-03
0	0	6.51E-06



Gambar 4. 10 Grafik BER vs Daya sinyal *jamming* pada frekuensi 2,446 GHz dan 2,448 GHz

Untuk dapat melihat perbandingan sinyal yang diberi gangguan sinyal *multi tone jamming* maka untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.11.

Pada gambar 4.11 dapat kita lihat bahwa perubahan daya sinyal *jamming* sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja sistem DSSS tetapi perubahan frekuensi pada sinyal *multi tone jamming* tidak mengalami perubahan yang signifikan.



Gambar 4. 11 Grafik BER *multi tone* tiga kondisi

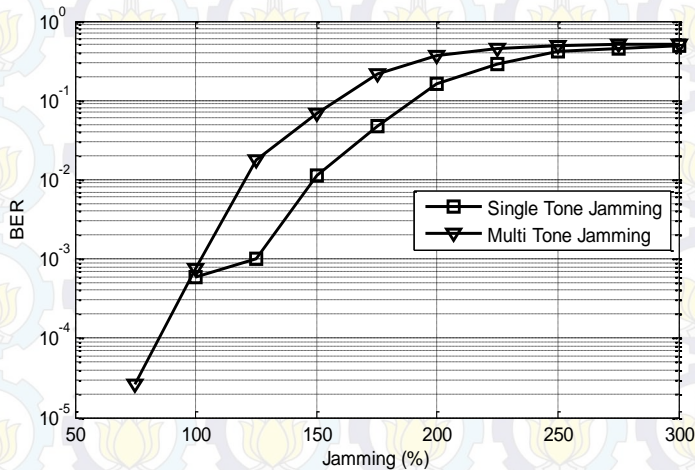
4.4.3 Analisa BER dengan *jamming single tone* dan *multi tone*

Pada bagian ini akan dianalisa bagaimana kinerja dari sistem DSSS yang diberi gangguan *single tone jamming* dan *multi tone jamming*. Pada analisa ini akan dibandingkan BER antara kedua mode pengukuran tersebut dengan membedakan *power transmit* (Ptx) pada saat -20 dBm dan -25 dBm.

4.4.3.1 Perbandingan BER dengan *jamming single tone* dan *multi tone* pada Ptx -20 dBm

Pada pengukuran ini akan dianalisa perbandingan antara sinyal yang diberi gangguan *single tone jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan

diberi gangguan *multi tone jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,448 GHz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.12.

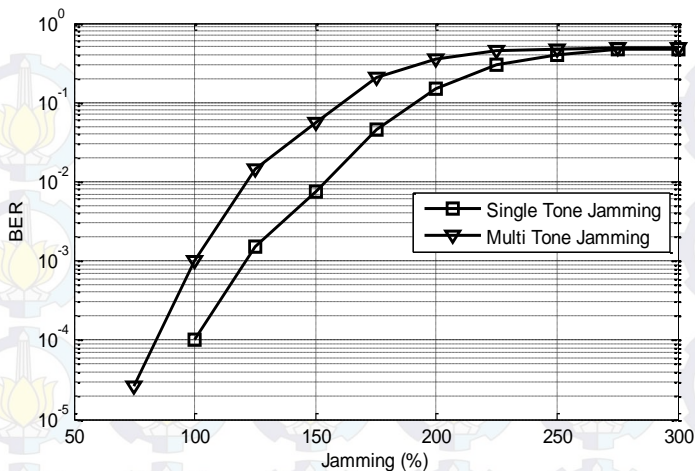


Gambar 4. 12 Grafik BER *single tone* vs *multi tone jamming*

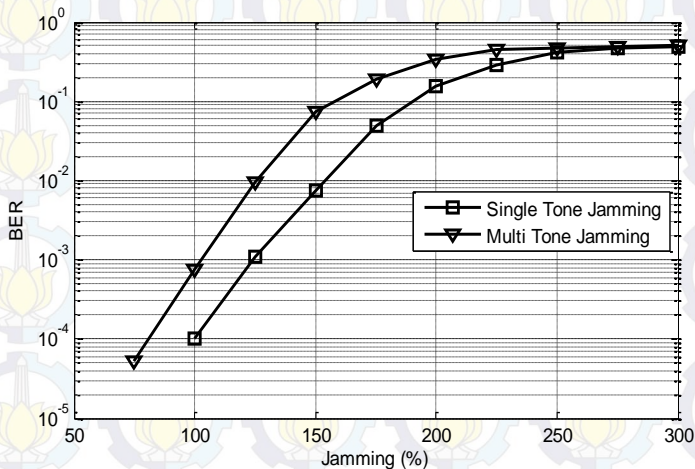
Pada bagian selanjutnya akan dibandingkan antara sinyal yang diberi gangguan *single tone jamming* pada frekuensi 2,448 GHz dan diberi gangguan *multi tone jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,446 GHz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.13.

Pada bagian terakhir di Ptx -20 dBm akan dibandingkan antara sinyal yang diberi gangguan *single tone jamming* pada frekuensi 2,446 GHz dan diberi gangguan *multi tone jamming* pada frekuensi 2,448 GHz dan 2,446 GHz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.14.

Dari grafik BER yang ditampilkan dapat kita ambil kesimpulan bahwa pengaruh banyaknya *jamming* pada suatu sistem komunikasi berbanding lurus dengan nilai BER. Pada gambar 4.14 kita dapat melihat kinerja sistem yang diberi gangguan *single tone jamming* lebih baik jika dibandingkan dengan diberi gangguan *multi tone jamming*.



Gambar 4. 13 Grafik BER *single tone* vs *multi tone jamming*

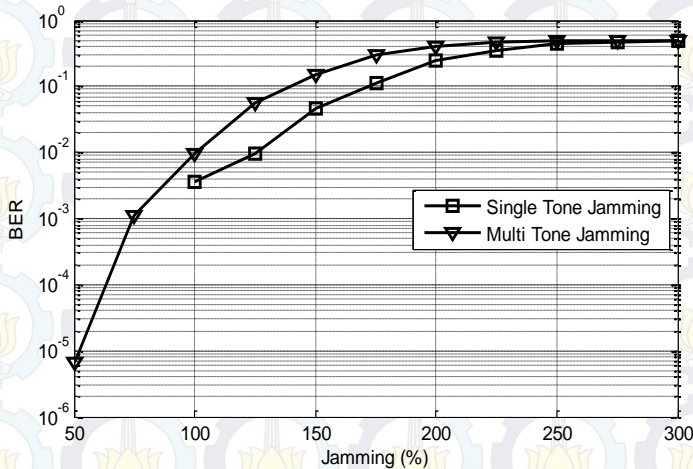


Gambar 4. 14 Grafik BER *single tone* vs *multi tone jamming*

4.4.3.2 *Perbandingan BER dengan jamming single tone dan multi tone pada Ptx -25 dBm*

Pada pengukuran ini akan dianalisa perbandingan antara sinyal yang diberi gangguan *single tone jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan

diberi gangguan *multi tone jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,448 GHz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Grafik BER *single tone* vs *multi tone jamming*

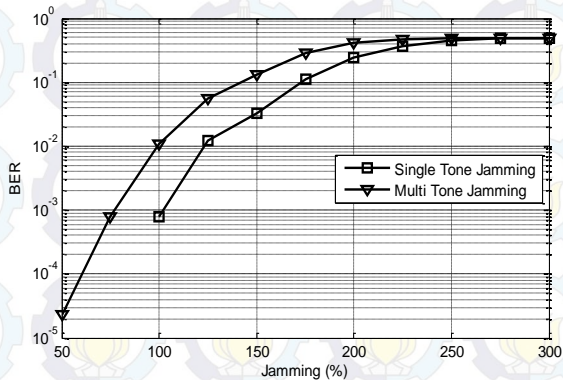
Pada bagian selanjutnya akan dibandingkan antara sinyal yang diberi gangguan *single tone jamming* pada frekuensi 2,448 GHz dan diberi gangguan *multi tone jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,446 GHz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.16.

Pada bagian terakhir di Ptx -25 dBm akan dibandingkan antara sinyal yang diberi gangguan *single tone jamming* pada frekuensi 2,446 GHz dan diberi gangguan *multi tone jamming* pada frekuensi 2,448 GHz dan 2,446 GHz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.17.

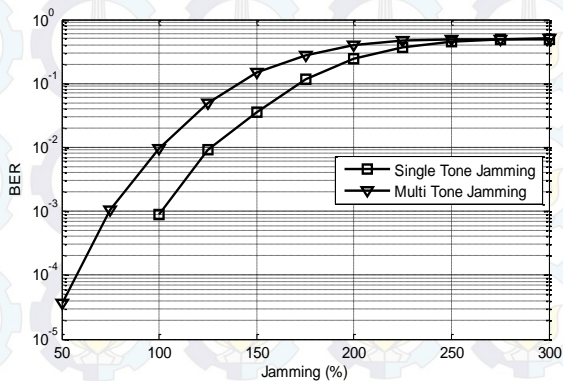
Dari grafik BER yang ditampilkan dapat kita ambil kesimpulan bahwa pengaruh banyaknya *jamming* pada suatu sistem komunikasi berbanding lurus dengan nilai BER. Pada gambar 4.17 kita dapat melihat kinerja sistem yang diberi gangguan *single tone jamming* lebih baik jika dibandingkan dengan diberi gangguan *multi tone jamming*.

Pada pengukuran yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar daya dalam hal ini adalah Ptx dari suatu sistem

menyebabkan nilai dari BER semakin kecil, hal ini dapat terlihat dari gambar yang telah disajikan.



Gambar 4. 16 Grafik BER *single tone* vs *multi tone jamming*

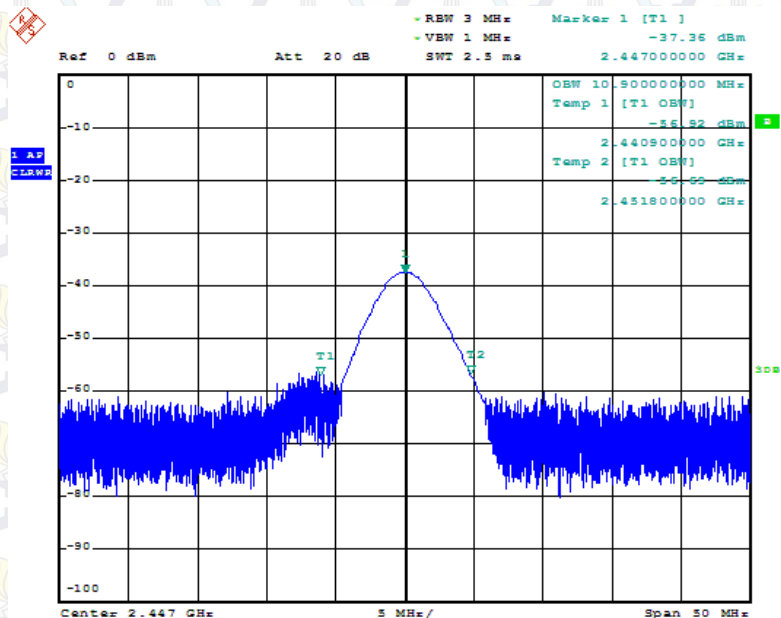


Gambar 4. 17 Grafik BER *single tone* vs *multi tone jamming*

Perubahan daya sinyal *jamming* dalam hal ini adalah perubahan daya dari sinyal menyebabkan sinyal yang diterima menjadi terganggu. Semakin tinggi nilai daya *jamming* berbanding lurus dengan nilai BER yang didapat, tetapi semakin tinggi nilai P_{tx} maka berbanding terbalik dengan nilai BER yang didapat.

4.5 Pengukuran dengan *Spectrum Analyzer*

Dalam pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui secara *real* bagaimana unjuk kerja dari sistem yang ditampilkan dalam sebuah *spectrum analyzer*. Pada penelitian ini digunakan frekuensi kerja 2,4 GHz (IEEE 802.11g) dan menggunakan kanal 8 atau pada frekuensi 2,447 GHz. Pada pengukuran ini akan ditampilkan gambar pada saat suatu sistem sebagai pemancar dan penerima.



Gambar 4. 18 *Bandwidth passband* frekuensi kerja 2,447 GHz.

Pada gambar 4.18 terlihat *power spectral density* dari sinyal yang dikirimkan, parameter yang diberikan adalah diberikan level penguatan pada *Radio Frekuensi* (RF) adalah 0, dapat kita lakukan konversi menjadi -35 dBm. Pada pengukuran terlihat pada titik puncak 1 menunjukkan berada pada -37,36 dBm, hal ini berarti dalam pengiriman menuju *spectrum analyzer* terjadi redaman. *Bandwidth* yang terlihat pada gambar 4.18 adalah 10,9 MHz.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses implementasi, pengukuran dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

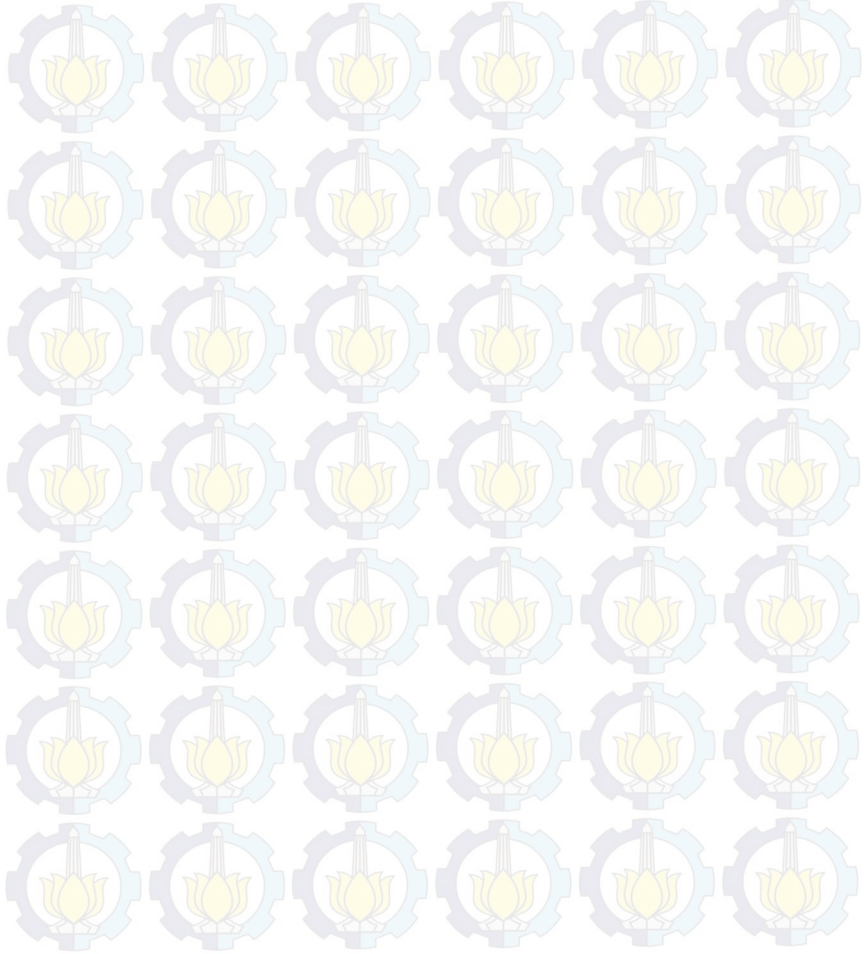
1. Sinyal *jamming* pada pengukuran berpengaruh terhadap kinerja sistem, terutama pada perubahan daya *jamming*. Semakin besar daya *jamming* berakibat pada bertambah besar kesalahan bit yang diterima pada penerima.
2. Ketika suatu sistem diberi gangguan *jamming* pada frekuensi kerja sistem, penggunaan PN *sequence* menjadi penting untuk memperbaiki kinerja sistem, hal ini terbukti bahwa kinerja sistem ketika mengirim dengan teknik DSSS mempunyai kinerja 72,27 % lebih baik jika dibandingkan dengan modulasi tanpa PN *sequence*.
3. Pada *jamming* jenis *single tone*, ketika Ptx -25 dBm mencapai nilai BER 10^{-3} rata-rata pada saat besar *jamming* 100 % dari daya sinyal *carrier* sistem. Sedangkan ketika Ptx -20 dBm nilai BER 10^{-3} rata-rata didapat ketika sinyal *jamming* 125 % dari daya sinyal *carrier* sistem.
4. Pada *jamming* jenis *multi tone*, ketika Ptx -25 dBm mencapai nilai BER 10^{-3} rata-rata pada saat besar *jamming* 50 % dari daya sinyal *carrier* sistem. Sedangkan ketika Ptx -20 dBm nilai BER 10^{-3} rata-rata didapat ketika sinyal *jamming* 100 % dari daya sinyal *carrier*.
5. Pada pengukuran sistem diketahui bahwa untuk jenis *jamming* berupa *single tone* dan *multi tone*, besarnya nilai *power transmit* (Ptx) akan mempunyai pengaruh yang baik atau stabil pada sistem ketika sistem mempunyai daya sinyal *carrier* yang sama atau lebih besar daripada daya dari sinyal *jamming*.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya dari implementasi sistem komunikasi DSSS menggunakan modul WARP adalah sebagai berikut :

1. Pengembangan implementasi sistem komunikasi DSSS yang diterapkan pada aplikasi yang lebih lanjut seperti CDMA.
2. Penggunaan *jamming* yang lebih bervariasi dan lebih banyak.

3. Mengetahui nilai BER dengan parameter perbedaan variasi *polynomial* pada PN *sequence*.
4. Mengetahui kinerja sistem berdasarkan parameter gain antara sinyal informasi dengan sinyal *spreading*.
5. Menerapkan kinerja sistem komunikasi DSSS pada band frekuensi 5 GHz pada modul WARP.



DAFTAR PUSTAKA

1. **Torrieri, Don.**, “*Principle of Spread Spectrum Communication Systems*”. Springer. New York. 2005.
2. **Proakis, John G.**, “*Digital Communications Fourth Edition*”, Prentice Hall. California. 2001.
3. **Sklar, Bernard.**, “*Digital Communications Fundamentals and Applications*”. Prentice Hall. California. 2001.
4. **Poisel, Richard A.**, “*Modern communication Jamming Principles and Techniques*”. Artech House. Norwood MA. 2011.
5. **Haykin, Simon.**, “*Communication Systems Fourth Edition*”. Mc Master. New York. 2000.
6. **Maxim Integrated Product Inc.** MAX2828/2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-band Transceiver ICs Datasheet. 2004.
7. **WARP Project - Wireless Open Access Research Platform.** [Online] Desember 2014. [Disunting: Desember 23, 2014.] <http://warp.rice.edu/trac/wiki/about>.
8. **WARP Radio Board Overview - Wireless Open Access Research Platform.** WARP Project - Wireless Open Access Research Platform. [Online] Desember, 2014. [Disunting: Desember 23, 2014.] <http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoardv1>.



LAMPIRAN A PROPOSAL

Jurusan Teknik Elektro- FTI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Aditya Sukmana Putra
Nomor Pokok : 22 12 106 074
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Gasal Th. 2014/2015
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Suwadi, MT.
2. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

22 SEP 2014

Judul Tugas Akhir : **Implementasi dan Evaluasi Kinerja *Direct Sequence Spread Spectrum* Menggunakan *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP)**
***Implementation and Performance Evaluation of Direct Sequence Spread Spectrum Using Wireless Open-Access Research Platform* (WARP)**

Uraian Tugas Akhir :

K keamanan data informasi yang dikirim dan ketahanan terhadap *jamming* merupakan hal utama dalam sebuah sistem komunikasi, sehingga dibutuhkan sistem yang dapat mengatasi interferensi, kerahasiaan informasi yang dikirimkan dan dapat beroperasi pada tingkat S/N yang rendah. *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) yang akan diimplementasikan pada hardware WARP adalah metode yang dibutuhkan untuk mengatasi masalah tersebut. Prinsip kerja dari *direct sequence* yaitu menggabungkan dan menebarkan data informasi dengan data rate bit *sequence* yang lebih tinggi yang dihasilkan oleh *pseudo random generator*.

Wireless Open-Access Research Platform (WARP) merupakan salah satu *Software Define Radio* (SDR) yang digunakan sebagai alat simulasi nirkabel dan menawarkan pendekatan keadaan secara nyata saat pengukuran dalam suatu sistem komunikasi. Dengan simulasi ini diharapkan mampu mengetahui kinerja sistem DSSS pada *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP) yang ditampilkan dalam bentuk grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap variasi nilai daya sinyal *jamming*.

Kata kunci : DSSS, WARP, SDR, BER, *jamming*
Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dr. Ir. Suwadi, MT
NIP. 196808181993031002

Dr. Ir. Titiek Suryani, MT
NIP. 196411301989032001

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS
Ketua,

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,

Dr. Tri Arif Sardiono, ST., MT.
NIP. 197002121995121001

Dr. Ir. Endrovono, DEA
NIP. 196504041991021001



LAMPIRAN B

LISTING PROGRAM

Dalam pengukuran ini digunakan program MATLAB, sehingga dapat membantu merealisasi sistem DSSS sesuai dengan keadaan yang nyata, yang dikonfigurasi dengan modul WARP. Berikut merupakan listing program yang akan dibagi menurut blok dari sistem :

1. Program Utama

```
% Program Utama %%
clear all;
close all;
clc;
warning off;

% Input dsss
info_tx;

% Inisialisasi
ta_init2;

% Membuat frame dan proses modulasi
frame_tx;

% Transmisi data melalui WARP , parameter gain
tx_bb_gain = 1;
tx_rf_gain = 60; %0:63 ~= 0:31 dB
rx_bb_gain = 1;
rx_rf_gain = 1;

[rx_IQ] =
warp_transmit(xt_mf,tx_bb_gain,tx_rf_gain,...
    rx_bb_gain,rx_rf_gain);
% rx_IQ = awgn(xt_mf,20); % Simulasi dengan AWGN
```



```
%Demodulasi Semua frame rx_IQ
frame_rx;
```

```
% Output DSSS
info_rx;
```

```
h = scatterplot(yt_syms,1,0,'b. ');
hold on;
scatterplot(n_sym_dat(:,1),1,0,'r*',h);
title('Constellations');
legend('Transmitted','Location','SouthOutside','Orientation','Horizontal');
legend('Received','Transmitted','Location','SouthOutside','Orientation','Horizontal');
grid on
axis([-2 2 -2 2]); % Set axis.
```

2. Data informasi, proses spreading dan PN sequence

```
%% Membangkitkan BIT inputan
in = 192*200; % merupakan bit inputan
b = randi([0 1],1,in); % membangkitkan bit inputan
output_2 = kron(b,ones(1,8)); % upsample 8
output_pertama = 2*output_2-1; % Mengubah menjadi NRZ

% Membangkitkan PN SEQUENCE
generator = PN2(in); % Pembangkitan PN diambil dari fungsi
sinyal_spread = generator;

% gen8 = PN(in);
% spreading = gen8;

%% INFO * PN SEQUENCE
Sig_Spreadnya = output_pertama.*sinyal_spread;
% Sig_Spreadnya = NRZ_info.*spreading;
for ii=1:length(Sig_Spreadnya)
```

```

if Sig_Spreadnya(ii) > 0
    bit_est(ii) = 1;
else
    bit_est(ii)= 0;
end
end
out_dsss      = bit_est;
input_DSSS    = out_dsss.';

```

3. Proses modulasi dan pembuatan frame

```

% Bit yang akan ditebar
n_bits = length(input_DSSS)
n_bin  = input_DSSS;
n_syms = n_bits/k;
n_sym  = reshape(n_bin,n_syms,k);
n_dat  = bi2de(n_sym,'left-msb');

% Pembentukan laju simbol
Rsym   = 5e6;
nsamp  = floor(Fs/Rsym);
Rsym   = Fs/nsamp;

%Pembentukan Preamble
pream = [0;0;0;0;-1+1i;1-1i;-1+1i;-1+1i;-1+1i;1-1i;-1+1i;0;0;0;0;0;0;0;0];
pream_len = length(pream);

% Pembentukan matriks korelasi preamble
corr_win = 300; %paling tidak corr_win >= pream_len*nsamp
pream_up = upsample(pream,nsamp);
ref_vect = zeros(corr_win,1);
ref_vect(1:length(pream_up)) = pream_up;
ref_matx=
toeplitz(ref_vect,circshift(ref_vect(corr_win:-1:1),1));

```

```

% Transmissi delay
txDelay = 500;

% Pembuatan symbol CSI atau symbol Pilot
Jmlh_CSI = 150; %Jumlah simbol untuk CSI
CSI_dat = ones(Jmlh_CSI,1);

%Desain Square Root Raised Cosine filter
shape = 'Square Root Raised Cosine';
N_Ord = 6; %Genap
R_SRRC = 0.9; %[0-1]
SRRC_spec =
fdesign.pulseshaping(nsamp, shape, 'Nsym, Beta', N_O
rd, R_SRRC);
h_SRRC = design(SRRC_spec);
flt_delay = h_SRRC.order/2; %or nsamp*N_Ord
norm_factor = max(h_SRRC.numerator);
h_SRRC.numerator = h_SRRC.numerator/norm_factor;
%Normalisasi filter

%CSI dan data yang akan dikirim
data_sym = floor((L-(pream_len*nsamp)-txDelay-
flt_delay)/nsamp);

% Modulasi baseband
n_sym_dat = modulate(h_bb_mod, n_dat);

% Representasi grafis bit stuffing:
% |-----data_sym-----|
% CSI - <sub-frames> -- CSI - <sub-frames> --
... - <sub-frames> -- CSI

%Tentukan jumlah simbol data diantara simbol CSI
sym_size = floor(data_sym/(CSI_syms-1))-1;
sub_frame = CSI_syms-1;
fr_len = sub_frame*sym_size + CSI_syms;
data_sym = fr_len - CSI_syms;
n_frames = ceil(n_syms/data_sym);

```

```

stuff_sym = [upsample(CSI_dat(1:CSI_syms-
1),sym_size+1);CSI_dat(end)];
n_dat_fr = repmat(stuff_sym,1,n_frames);
pad = n_frames*data_sym - n_syms;
n_sym_dat = [n_sym_dat;zeros(pad,1)];
n_sym_dat =
reshape(n_sym_dat,data_sym,n_frames);

%Bagi data menjadi beberapa frame, tambahkan bit
stuffing
for ii=1:n_frames
    n_dat_fr(:,ii) =
sym_stuffing(n_dat_fr(:,ii),n_sym_dat(:,ii),sym_
size);
end

%Tambahkan preamble
temp_mat1 = repmat(pream,1,n_frames);
xt_dat = [temp_mat1;n_dat_fr];

%Interpolasi, matched filtering, tambahkan
filter delay
xt_mf_bb =
filter(h_SRRC,[upsample(xt_dat,nsamp);zeros(flt_
delay,n_frames)]);
xt_mf = zeros(size(xt_mf_bb));

%Upconvert semua frame, normalisasi
time = [(0:length(xt_mf)-1)/Fs].';
f = 7e6;
for ii=1:n_frames
    xt_mf(:,ii) =
xt_mf_bb(:,ii).*exp(1i*2*pi*f*time);
    norm_fact = max( [ max(real(xt_mf(:,ii))),
max(imag(xt_mf(:,ii)))] );
    %Normalize frame
    xt_mf(:,ii) = xt_mf(:,ii)./norm_fact;
end

```


4. Proses pengiriman dengan modul WARP

```
function [ rx_IQ, rx_RSSI, rx_gains ] =  
warp_transmit( st, tx_bb_gain, tx_rf_gain,  
rx_bb_gain, rx_rf_gain )  
%WLABV7_TXRX_FRAMES Summary of this function  
goes here  
% Detailed explanation goes here  
NUMNODES = 2;  
nodes = wl_initNodes(NUMNODES);  
  
fprintf('Begin WARP Tx-Rx...\n')  
tic;  
% Initialize WARP  
USE_AGC = false;  
  
%Create a UDP broadcast trigger and tell each  
node to be ready for it  
eth_trig = wl_trigger_eth_udp_broadcast;  
wl_triggerManagerCmd(nodes,'add_ethernet_trigger'  
,[eth_trig]);  
  
%Get IDs for the interfaces on the boards. Since  
this example assumes each  
%board has the same interface capabilities, we  
only need to get the IDs  
%from one of the boards  
[RFA,RFB] = wl_getInterfaceIDs(nodes(1));  
  
%Set up the interface for the experiment  
wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','tx_gains',tx_bb_  
gain,tx_rf_gain);  
wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','channel',2.4,8);  
  
if(USE_AGC)
```

```

wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gain_mode', 'automatic');
    wl_basebandCmd(nodes, 'agc_target', -10);
    wl_basebandCmd(nodes, 'agc_trig_delay', 511);
else

wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gain_mode', 'manual');
    RxGainRF = rx_rf_gain; %Rx RF Gain in [1:3]
    RxGainBB = rx_bb_gain; %Rx Baseband Gain in [0:31]

wl_interfaceCmd(nodes, 'RF_ALL', 'rx_gains', RxGainRF, RxGainBB);
end

%We'll use the transmitter's I/Q buffer size to
determine how long our
transmission can be
txLength = nodes(1).baseband.txIQLen;

%Set up the baseband for the experiment
wl_basebandCmd(nodes, 'tx_delay', 0);
wl_basebandCmd(nodes, 'tx_length', txLength);


node_tx = nodes(1);
node_rx = nodes(2);
RF_TX = RFA;
RF_RX = RFA;

Ts =
1/(wl_basebandCmd(nodes(1), 'tx_buff_clk_freq'));
Ts_RSSI =
1/(wl_basebandCmd(nodes(1), 'rx_rssi_clk_freq'));

```

```

%enabling both tx and rx buffer
%Write to buffer and enable both tx, rx

st_size = size(st);
rx_IQ = zeros(txLength,st_size(2));
rx_RSSI = zeros(txLength/4,st_size(2));
rx_gains = zeros(3,st_size(2));

%Do transmit-receive for all st frames
wl_interfaceCmd(node_tx,RF_TX,'tx_en');
wl_interfaceCmd(node_rx,RF_RX,'rx_en');
wl_basebandCmd(node_tx,RF_TX,'tx_buff_en');
wl_basebandCmd(node_rx,RF_RX,'rx_buff_en');

for m=1:st_size(2);

    wl_basebandCmd(node_tx,[RF_TX], 'write_IQ',
st(:,m) );

    %send trigger
    eth_trig.send();

    %Get received data

    %First RF
    rx_IQ(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX],'read_IQ', 0,
txLength);
    rx_RSSI(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX],'read_RSSI',0,txL
ength/(Ts_RSSI/Ts));
    rx_gains(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX],'agc_state');

end

%Disable all RF to both node

```

```

wl_basebandCmd(nodes,'RF_ALL','tx_rx_buff_dis');
wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','tx_rx_dis');

```

```

pr_time = toc;
fprintf('\nDone. Process time = %f s\n',pr_time);
end

```

5. Demodulasi

```

%Sinkronisasi dan Downconvert semua frame
time = ((0:length(rx_IQ)-1)/Fs).';
rx_IQ_disp = rx_IQ;
for ii=1:n_frames
    %vco_sig = syn_frame(rx_IQ(:,ii),f,Fs);
    vco_sig = exp(1i*2*pi*f*time);
    rx_IQ(:,ii) = rx_IQ(:,ii).*conj(vco_sig);
end

```

```

%Matched filtering
hrx_SRRC = design(SRRC_spec);
hrx_SRRC.numerator = hrx_SRRC.numerator *
(norm_factor*nsamp);
yt_mf =
filter(hrx_SRRC,[rx_IQ;zeros(flt_delay,n_frames)
]);

```

```

yt_rx_data = zeros(size(n_dat_fr));
z_sym = zeros(size(n_sym_dat));
ch_est = zeros(size(n_dat_fr));

```

```

%Deteksi simbol pertama pada tiap-tiap frame
for ii=1:n_frames
    temp_vct1 = yt_mf(:,ii);
    %Cari korelasi tertinggi
    correlation = abs(
(temp_vct1(1:corr_win)') * ref_matx );
    pream_start = find(correlation ==
max(correlation));

```



```

first_sample =
pream_start+length(pream_up);
%Downsampling
temp_vct2 = temp_vct1(first_sample:end);
temp_vct3 =
downsample(temp_vct2(1:end),nsamp);

%Trim
temp_vct3 = temp_vct3(1:fr_len);

%Save trimmed vector
yt_rx_data(:,ii) = temp_vct3;

%Estimasi kanal
ch_est(:,ii) =
estimate_chan(yt_rx_data(:,ii),sym_size);
temp_vct3 =
yt_rx_data(:,ii).*conj(ch_est(:,ii));
multip = [abs(ch_est(:,ii)).^2];
yt_rx_data(:,ii) = (temp_vct3)./multip;
%Symbol de-stuffing
temp_vct3 =
sym_destuffing(yt_rx_data(:,ii),sym_size);
%Potong semua frame CSI, kumpulkan hasil
data pada matriks tertentu
z_sym(:,ii) = temp_vct3;
end

%Ubah yt_rx_data menjadi vektor, potong yt_syms
yt_syms = reshape(z_sym,data_sym*n_frames,1);
yt_syms = yt_syms(1:length(n_dat));

%Demodulasi
z_sym = demodulate(h_bb_demod,yt_syms);

%Potong z_sym agar memiliki panjang sama dengan
n_dat
z_sym = z_sym(1:length(n_dat));

```

```
rx_siso= z_sym;
```

```
yy= de2bi(rx_siso,'left-msb');  
rx_bit=reshape(yy,1,[]);
```

6. Proses dispreading dan penerimaan sinyal informasi

```
% Bit hasil demodulasi  
rx_siso = rx_bit;  
rx_siso = reshape(rx_siso,1,[]);  
out_spread = 2*rx_siso-1;
```

```
% Blok sinyal PN SEQUENCE  
generator2 = PN2(in);  
sinyal_spread2 = generator2;
```

```
% Blok sinyal DESPREADING  
out_aaa = out_spread.*sinyal_spread2;
```

```
% Membuat bit -1 -> 0 dan bit 1 -> 1  
for ii=1:length(out_aaa)  
    if out_aaa(ii) > 0  
        out_b(ii)= 1;  
    else  
        out_b(ii)= 0;  
    end  
end  
keluaran = out_b;
```

```
b_res = reshape(keluaran,8,[]);  
% b_res = reshape(rx_siso,8,[]);  
b_rx = mode(b_res);  
[Num1,SER_DSSS] = biterr(b_rx,b)
```

7. Program Inisialisasi

```
%Frek. sampling dan waktu sampling
```

```

Fs = 40e6;
Ts = 1/Fs;

%Vektor waktu
L = 2^14;
t = (0:L-1)/Fs;

%Sistem modulasi yang digunakan
M = 2;
k = log2(M);
if M > 2
    ph_off = 0;
    h_bb_mod =
modem.pskmod('M',M,'PhaseOffset',ph_off);
    h_bb_demod =
modem.pskdemod('M',M,'PhaseOffset',ph_off);
else
    h_bb_mod = modem.pskmod('M',M);
    h_bb_demod = modem.pskdemod('M',M);
end

```

8. Program membangkitkan PN generator

```

function generator=PN(in)

hpn = comm.PNSequence('Polynomial',[3 2 0], ...
    'SamplesPerFrame', in.*8 ,
    'InitialConditions',[0 0 1]);

x2 = step(hpn);
x1 = step(hpn);
[x1 x2];
pseudo_random=[ x2.' ];

cek1=2*pseudo_random-1;
generator=cek1;
end

```

9. Program single tone jamming

```

close all;
clear all;
clc;

%% Penguatan
tx_gain_RF = 60; % [0:63] ~= 0:31 dB
tx_gain_bb = 1; % [0:3 ]
rx_gain_RF = 1; % [1:3 ]
rx_gain_bb = 1; % [0:31]
Fch       = 2.4;
channel   = 8 ;
%%
%% Sinyal yang akan dikirimkan berupa sinyal
SINUSOIDAL
%%
-----%%
nsamp = 2^14; % Jumlah sample
fs = 40e6; % Frekuensi sampling
T = 1/fs; % Waktu sampling

% Frekuensi tengah sinyal JAMMING
f0=0;
f2 = 2e6;
f6 = 6e6;
f7 = 7e6;
f8 = 8e6;
f12 = 12e6;
f5 = 5e6;
f10 = 10e6;

% Membuat vektor time sample
t = (0:1:nsamp-1)*T;

%% Data yang akan dikirimkan
tx_data = 1*cos(2*pi*f2*t);

```



```

%% -----Pengiriman menggunakan WARP-----
%%
% rx_data=
warp_transmit(tx_data,tx_gain_RF,tx_gain_bb,...
    rx_gain_RF,rx_gain_bb,Fch,channel);
% rx_data = awgn(tx_data,30);

% PLOT Spektrum
NFFT = 2^nextpow2(nsamp);           % Next power of
2 from length of y
Y = fft(tx_data,NFFT)/nsamp;
fx = fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
% Plot Spektrum.
plot(fx,2*abs(Y(1:NFFT/2+1))) ;
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of y(t)')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('|Y(f)|')

fig_title='PSD'
[y0_psd,f0] =
show_spectrum(tx_data,fs,fig_title);

%Plot the transmitted and received data
figure;
plot(real(tx_data(1:200)),'-r');
hold on
% plot(real(rx_data(1:200)),'-b')
xlabel('Sample');
ylabel('Amplitude');
legend('Single Tone Jamming');

```

10. Program multi tone jamming

```

close all;
clear all;
clc;

```

```

%% Penguatan
tx_gain_RF = 60; % [0:63] ~= 0:31 dB
tx_gain_bb = 1; % [0:3 ]
rx_gain_RF = 1; % [1:3 ]
rx_gain_bb = 1; % [0:31]
Fch       = 2.4;
channel    = 8 ;
%%
%% Sinyal yang akan dikirimkan berupa sinyal
SINUSOIDAL
%%-----%%
nsamp = 2^14; % Jumlah sample
fs = 40e6; % Frekuensi sampling
T = 1/fs; % Waktu sampling

% Frekuensi tengah sinyal JAMMING
f0=0;
f2 = 2e6;
f6 = 6e6;
f7 = 7e6;
f8 = 8e6;
f12 = 12e6;
f5 = 5e6;
f10 = 10e6;

% Membuat vektor time sample
t = (0:1:nsamp-1)*T;

%% Data yang akan dikirimkan

tx_data
=1*cos(2*pi*f1*t)+1*cos(2*pi*f7*t)+1*cos(2*pi*f8
*t);

```

```

%% -----Pengiriman menggunakan WARP-----
%%

% rx_data=
warp_transmit(tx_data,tx_gain_RF,tx_gain_bb,...
    rx_gain_RF,rx_gain_bb,Fch,channel);
% rx_data = awgn(tx_data,30);

%%

% PLOT Spektrum
NFFT = 2^nextpow2(nsamp); % Next power of
2 from length of y
Y = fft(tx_data,NFFT)/nsamp;
fx = fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
% Plot Spektrum.
plot(fx,2*abs(Y(1:NFFT/2+1))) ;
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of y(t)')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('|Y(f)|')

fig_title='PSD'
[y0_psd,f0] =
show_spectrum(tx_data,fs,fig_title);

%Plot the transmitted and received data
figure;
plot(real(tx_data(1:200)),'-r');
hold on
% plot(real(rx_data(1:200)),'-b')
xlabel('Sample');
ylabel('Amplitude');
legend('Multi Tone Jamming')

```

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Aditya Sukmana Putra, adalah anak kedua dari empat bersaudara yang lahir di Klaten, Jawa Tengah, 23 Januari 1991. Mengawali pendidikan di SD Negeri III Keden, Pedan, Klaten yang lulus pada tahun 2003. Melanjutkan ke SMP Negeri I Pedan, Klaten dan lulus pada tahun 2006, kemudian melanjutkan ke SMA Negeri 1 Klaten dan lulus pada tahun 2009. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Diploma-III di Institut Teknologi Telkom Bandung dan lulus pada tahun 2012. Penulis merasa harus melanjutkan pendidikan sehingga memutuskan untuk melanjutkan ke jenjang S1 dan diterima di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada bulan Januari 2013 melalui program Lintas Jalur, dan mengambil bidang studi Telekomunikasi Multimedia. Email : adityasukmanaputra@gmail.com.